3/7

Grondbeginselen akoestiek en audio-techniek

Inhoud

3/7.9 Moderne car-audio technologie

(verschenen in de 119e aanvulling)

3/7.1

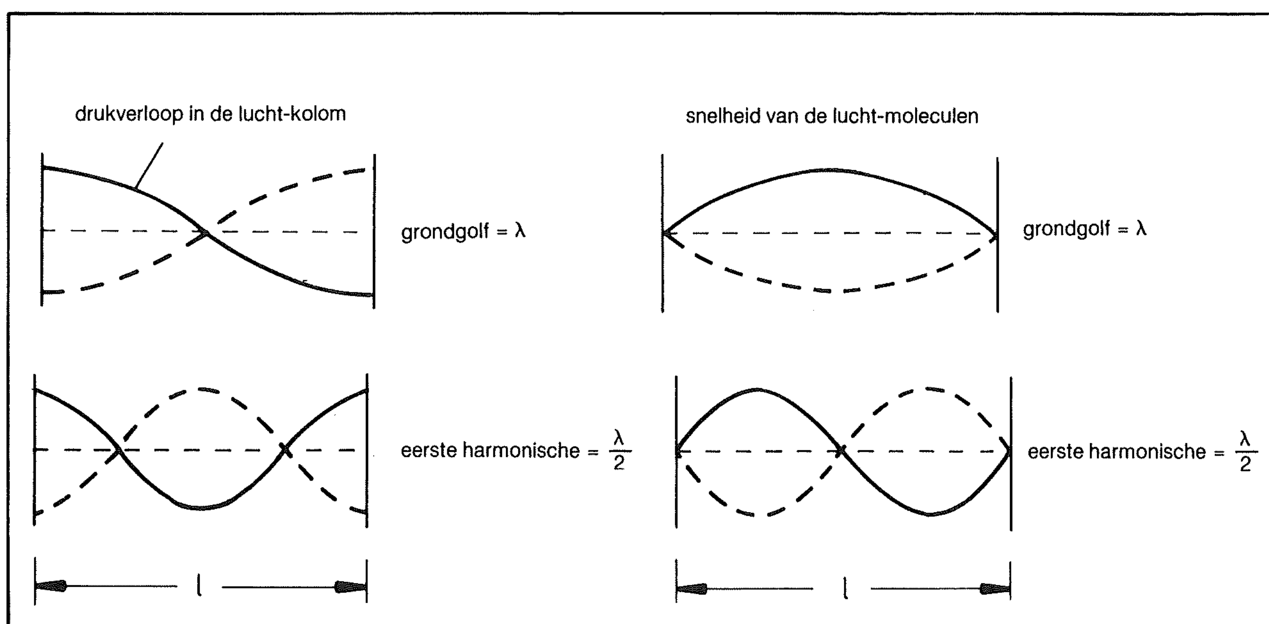
Akoestiek

3/7.1.1 Geluidsgolven

In de natuurkunde verstaat men onder geluidsgolven het in een bepaalde stof optreden van elastische drukgolven (een opeenvolging van gebieden met samengeperste moleculen en gebieden met uit elkaar gezogen moleculen) met frequenties tussen 16 Hz en 20 kHz. Dit frequentie-gebied komt ongeveer overeen met het gevoeligheidsbereik van het menselijk gehoor en ook de meeste (niet elektronische) muziek-instrumenten wekken geluiden in dat frequentie-bereik op.

3/7.1.2 Geluidsbronnen

Als een bepaald lichaam, bijvoorbeeld een snaar van een viool of het membraan van een blaasinstrument gaat trillen, dan zullen deze trillingen zich voortplanten in de lucht die het lichaam omgeeft. Het heen en weer bewegen van het lichaam veroorzaakt plaatselijk het samenpersen van de luchtmoleculen en nadien weer ontspannen van deze moleculen. Deze druk-golven planten zich voort door de lucht en breiden zich in alle richtingen uit (in de veronderstelling dat niets de



Figuur 3/7.1.2 -1:
Druk- en snelheids-verdeling van een oscillerende lucht-kolom in een luidspreker-behuizing.

uitbreiding in alle richtingen in de weg staat!).
Er bestaan bepaalde fysische verbanden tussen de drukverdeling van de moleculen in een luchtkolom en de snelheid waarmee deze deeltjes zich voortplanten. Als voorbeeld wordt de druk- en snelheidsverdeling in de gesloten luchtkolom in een luidspreker-behuizing behandeld.

- Naast de golf met een periode die gelijk is aan de basisperiode van het geluidssignaal, treden er uiteraard een heleboel harmonische trillingen op.
- Heeft de fundamentele trilling een periode van λ, dan zal de snelheid van de lucht-deeltjes maximaal zijn bij λ/2. Het drukverloop gaat dan immers door nul, de moleculen bewegen zich met maximale snelheid van een overdruk-situatie naar een onderdruk. De eerste harmonische heeft uiteraard twee snelheids-maxima!
- Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat drukverloop en snelheidsverloop in tegenfase zijn. Een minimum in het snelheidsverloop komt overeen met maximale over- of onderdruk!
- Tegen de wanden van de luidspreker-behuizing treedt steeds een minimum op in de snelheids-verdeling, de lucht-moleculen kunnen immers niet door de wand heen. Hieruit volgt een belangrijk gegeven. Is de wand van de luidspreker-behuizing niet stijf, met andere woorden trilt hij enigszins mee, dan zal de snelheid op dat punt niet nul zijn en de druk dus niet maximaal!

3/7.1.3 Geluids-snelheid

De drukgolf plant zich door de moleculen van de lucht voort met een snelheid van ongeveer 344,45 m/s. Het verband tussen de golflengte λ van de lopende golf en de voortplantings-snelheid wordt gegeven door de formule:

$$c = \lambda \cdot f$$

Hierin staat f voor de frequentie van de trilling. De golflengte heeft als eenheid de meter als de frequentie in Hz en de snelheid in m/s worden ingevoerd.
De voortplantings-snelheid is echter van een groot aantal factoren afhankelijk. Zo zal de snelheid in een met dempingsmateriaal gevulde luidspreker-behuizing dalen tot ongeveer 290 m/s, wat voor een groot deel te wijten is aan de wrijving die de bewegende lucht-moleculen in het dempingsmateriaal ondergaan en de warmte die daardoor in het dempingsmateriaal wordt opgenomen.

3/7.1.4 Ruimtelijke spreiding van geluidsgolven

Staande golven

De geluidsgolf die vanuit de luidspreker-conus naar de achterwand van de luidspreker-behuizing wordt uitgestraald zal tegen deze wand terugkaatsen en zich in omgekeerde richting weer naar de conus bewegen. Ondertussen is er echter een nieuwe geluidsgolf onderweg naar de achterwand! Deze in tegengestelde richting voortplantende golven zullen met elkaar interfereren, wat kan leiden tot het ontstaan van zogenoemde **staande golven**. De drukverdeling van de moleculen wordt drastisch gewijzigd en er ontstaan gebieden met extra onderdruk en gebieden met extra overdruk. Deze staande golven kunnen de weergavekwaliteit van de combinatie luidspreker(s)-luidspreker-behuizing in negatieve zin beïnvloeden. Het aanbrengen van

dempings-materiaal tegen de wanden van de behuizing is de meest voor de hand liggende remedie tegen deze staande golven.
Toch is er in feite maar een goede oplossing voor het vermijden van dit fenomeen: het ontwerpen van behuizingen waarvan de wanden niet parallel lopen! Een bol is het meest ideale voorbeeld van een behuizing zonder parallel lopende wanden. Het is echter niet eenvoudig een kogelvormige behuizing te ontwerpen en vandaar treft men deze behuizingen alleen in de zeer dure weergevers-klasse aan. Ook een pyramidevormige behuizing voldoet aan de eis van zo min mogelijk parallel lopende wanden. Maar dit soort behuizingen is ook tamelijk moeilijk te fabriceren en vandaar dat men uit kostenoverwegingen in de meeste gevallen toch kiest voor de alles behalve ideale kubus- of balkvormige behuizingen.

Interferentie

Als een en hetzelfde geluids-signaal door meer dan een bron tezelfdertijd wordt opgewekt, dan zullen de twee geluidsfronten met elkaar interfereren en zullen er plaatselijk verzwakkingen en versterkingen van de totale geluidsdruk optreden. Dit verschijnsel is bekend onder de naam **interferentie**. Er treedt maximale versterking op als de twee weergevers een geheel aantal golflengten van elkaar verwijderd zijn. Maximale verzwakking (en zelfs het wegvallen van de totale geluidsdruk!) ontstaat als beide weergevers een oneven aantal halve golflengtes uit elkaar staan. In de meeste gevallen zal echter niet precies worden voldaan aan de genoemde afstandsvoorwaarden en beide verschijnselen doen zich tezelfdertijd, maar ruimtelijk gespreid voor. Men kan dit demonstreren door aan de twee weergevers van een stereo-systeem hetzelfde sinus-signaal (frequentie bijvoorbeeld 1 kHz) aan te leggen, het volume niet al te hoog te zetten en nadien aandachtig de kamer waarin de weergevers staan opgesteld te doorlopen. Op sommige plaatsen merkt men een duidelijke daling van de geluids-intensiteit, op andere plaatsen klinkt het piepje veel luider!
Interferentie treedt steeds op bij weergevers waarbij het volledige frequentiegebied met behulp van verschillende luidsprekers wordt weergegeven. Men gebruikt wel scheidings-filters maar uiteraard zijn er frequenties op de grens van de scheidingsfrequentie die door beide weergevers in gelijke mate worden weergegeven. Zijn beide luidsprekers naast elkaar gemonteerd, dan zal de interferentie optreden in een horizontaal vlak, hetgeen zeer hinderlijk is! Vandaar dat men steeds de luidsprekers boven en onder elkaar plaatst. De interferentie treedt dan op in een verticaal vlak en in de praktijk heeft men daar niet erg veel hinder van, tenzij men tijdens het beluisteren van de lievelings-muziek laddertjes op- en afloopt! Maar de meeste mensen zullen er niet dit soort extravagante gewoontes op na houden!
In het kader van het vermijden van interferentie is het belangrijk de verschillende weergevers in een systeem zo dicht mogelijk bij elkaar te monteren. Hoe groter de afstand tussen de luidsprekers, hoe meer de geluidsfronten zich kunnen uitspreiden in de ruimte tussen de speakers en hoe groter de kans op allerlei ongewenste interferentie is!

Buigingen

Luidsprekers stralen hun golven ook uit

naar de hoeken van de behuizing. In deze hoeken ontstaan door terugkaatsingen ingewikkelde golf-patronen, die men samenvat met het woord **"buigingen"**. Deze teruggekaatste golven interfereren uiteraard weer met de primair door de luidspreker opgewekte geluidsfronten en ook hier ontstaat niet zo veel goeds uit. In feite zou het dus het beste zijn behuizingen zonder hoeken te ontwerpen en we komen dus weer bij de bol uit als meest ideale luidspreker-behuizing. Een cylindervorm, iets gemakkelijker te construeren, voldoet wat dit punt betreft ook uitstekend. Een compromis is het bouwen van zes- of twaalf-kantige boxen, hoewel dit voor de zelfbouwer ook niet zo eenvoudig is! Vindt men al deze moeite iets teveel van het goede en wil men niet afwijken van de balk- of kubus-vormige kasten, dan moet men wél de moeite nemen de hoeken van de kast zowel van binnen als van buiten af te ronden. Een kleine moeite en de ruimtelijkheid van de weergave wordt er alleen maar beter van.

3/7.1.5 Richtings-karakteristiek

Er bestaat een bepaald fysisch verband tussen de golflengte van het geluids-signaal, de diameter van het membraan van de luidspreker en de spreiding van het door de luidspreker uitgestraalde druk-patroon. Hoe kleiner de verhouding tussen golflengte en conus-diameter, hoe meer gebundeld het geluid wordt uitgestraald. Dat is een van de redenen waarom hoge-tonen luidsprekers een kleinere diameter hebben! Vaak treft men om dezelfde redenen bij breedband-speakers een tweede, klein conusje aan, gemonteerd in het hart van de grote conus.
Bij goede weergevers gebruikt men voor het spreiden van de hoge frequenties dan ook steeds 2 of zelfs 4 hoge-tonen luidsprekers. Toch voldoet zelfs de kleinste luidspreker niet aan de eis van een goede spreiding van zeer hoogfrequente signalen. De golflengte van een 17 kHz signaal, bijvoorbeeld, kan worden berekend met de hogervermelde formule:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{344{,}45}{17000} = 0{,}02 \text{ m} = 2 \text{ cm!}$$

Een goede ruimtelijke spreiding van een 17 kHz signaal zou dus alleen maar mogelijk zijn met een speakertje met een conus-diameter van minder dan 2 cm!

3/7.1.6 Nominale belasting

Hoewel de nominale belastbaarheid van een weergever in de praktijk lang niet zo belangrijk is als in diverse reclame-folders wordt gesuggereerd, moet men toch wel met een aantal factoren rekening houden. Tweeters (hoge tonen weergevers) zijn over het algemeen iets minder bestand tegen grote vermogens dan bas- of midrange-luidsprekers. Onder normale omstandigheden is dat geen bezwaar, de amplitude en dus ook het vermogen van het hoogfrequente deel van een muziek-signaal is tamelijk klein. Het meeste vermogen gaat zitten in de lage frequenties en vandaar dat men als stelregel tweeters gebruikt die voor 25% van het totale nominale vermogen van de weergever zijn ontworpen. De situatie wordt echter heel anders als men de (slechte) gewoonte heeft de toonregeling en het volume zo in te stellen dat de versterker regelmatig wordt overstuurd. Oversturing van een versterker wordt meestal veroorzaakt doordat het ingangssignaal van de eindversterker veel te groot is. De uitgangsspanning loopt dan

7.1 Akoestiek

vast tegen de positieve en de negatieve voedingsspanning, het signaal verliest zijn oorspronkelijke sinusvorm en wordt blokvormig. Nu ontstaan daardoor in het uitgangssignaal hoge harmonischen (een blokgolf bevat harmonischen tot ongeveer 20 maal de frequentie van de grondgolf). Deze hoge harmonischen worden door het scheidings-filter in de weergever aangeboden aan de tweeter(s), die deze langdurige zware belasting meestal niet doorstaan. Op deze manier kan de in eerste instantie rare situatie ontstaan, dat een tweeter een op vol vermogen draaiende 50 W versterker overleeft, maar de geest geeft als er een overstuurde 20 W versterker op wordt aangesloten!

3/7.2

Luidspreker-systemen

3/7.2.1 De dynamische luidspreker

Het meest gebruikte type, opgebouwd uit een spoeltje dat in het magnetische veld van een permanente magneet kan bewegen en mechanisch is verbonden met de conus. Als er aan dit spoeltje een spanning wordt gelegd, zal het rond het spoeltje opgewekte magnetische veld gaan interfereren met het constante veld van de permanente magneet. De twee velden oefenen afstotende en aantrekkende krachten op elkaar uit, deze krachten veroorzaken de beweging van het spoeltje in de luchtspleet van de magneet en daarmee ook de heen en weer gaande beweging van de conus. Zeker voor het weergeven van lage frequenties, waar het er op aan komt grote hoeveelheden lucht in beweging te zetten, is de dynamische luidspreker de enige voorradige oplossing. Bij het construeren van een behuizing moet men rekening houden met de gegevens van de gebruikte luidsprekers en het is dus zeer zeker nuttig even wat dieper in te gaan op de belangrijkste fysische eigenschappen van de dynamische luidspreker.

Membraan-massa

De resonantie-frequentie van een luidspreker hangt in belangrijke mate af van de soepelheid van de ophanging van de conus en van de massa van dit membraan. Een uit materialen met klein soortgelijk gewicht samengestelde conus zal erg goed in staat zijn te reageren op snelle spannings-sprongen en is dus ideaal voor het weergeven van pulsen. De massa, die door de magnetisch opgewekte krachten in beweging moet worden gebracht is immers klein! De resonantiefrequentie van het systeem neemt echter toe en de maximale geluidsdruk neemt af.

Een nadeel van lichte conussen kan zijn dat zij niet stijf zijn. Is de massa van de conus elastisch, dan zullen er bij het weergeven van hogere frequenties zogenoemde deeltrillingen ontstaan. Niet de volledige conus gaat dan trillen, maar slechts een klein gedeelte rondom de ophanging aan de spreekspoel. Deze trillingen planten zich door de elastische massa van het membraan voort en het spreekt vanzelf dat er dan in de conus zelf allerlei meng-trillingen ontstaan, die de vervorming van de weergave doen stijgen. Men noemt dit verschijnsel het **partieel trillen** van de conus en de luidspreker zal het geluid een eigen "kleur" meegeven. Deze partieel-trillingen treden bij alle volgens het zuiger-principe werkende luidsprekers op, dus ook bij de speciale hoge-tonen dome-tweeters. In feite zijn alleen de specifieke vlak-stralers, zoals elektrostaten en band-luidsprekers vrij van deze vervorming.

Enige fabrikanten hebben een poging ondernomen de voordelen van beide systemen met elkaar te combineren door het ontwikkelen van een dynamische luidspreker met een groot, plat, vierkantvormig membraan, dat wordt aangedreven door vier in de hoeken gemonteerde spreek-spoelen, ieder opgesteld in de luchtspleet van een permanente magneet!

Stijfheid van de membraan-ophanging

Zoals reeds gezegd bepaalt deze grootheid, samen met de massa van de conus, de eigen resonantie van de luidspreker. Deze grootheid wordt uitgedrukt in een aantal m/N en een groot getal komt overeen met een slappe ophanging. Een slappe ophanging heeft als voordelen het goed weergeven van snelle impulsen en weinig fase-draaiing. Ook het leverbare vermogen bij lage frequenties neemt toe. In het algemeen kan men stellen dat hoe slapper de ophanging is, hoe beter de luidspreker uitstraalt, hoewel de luchtspleet dan wel zo diep moet zijn dat de grote bewegingen van de conus zonder merkbare vervormingen uitgevoerd kunnen worden.

Resonantie-frequentie

De resonantie-frequentie van een luidspreker wordt steeds opgegeven in zogenoemde "vrije lucht condities", dus niet in een behuizing ondergebracht. In het algemeen kan men stellen dat deze frequentie de onderste weergave-grens van de luidspreker vaststelt. Een uitzondering op deze regel vormen bijzondere constructies, zoals bijvoorbeeld hoornluidsprekers, of luidsprekers in soortgelijke behuizingen ingebouwd, waarbij de luchtbelastings-weerstand een dusdanig frequentie-verloop heeft dat zeer lage frequenties toch nog uitgestraald kunnen worden.
Bij het inbouwen van een luidspreker in een "normale" behuizing stijgt de resonantie-frequentie. Het is dus zonder meer van groot belang een luidspreker met een zo laag mogelijke eigen resonantie-frequentie toe te passen!

Besluit

Uit de vorige paragrafen blijkt duidelijk dat alle parameters met elkaar te maken hebben. In de meeste gevallen is het echter helaas zo dat een goede waarde van de ene parameter een slechte waarde van een andere, in feite even belangrijke parameter tot gevolg heeft. Men moet dus compromissen sluiten.
En vergeet niet dat de kwaliteit van een luidspreker nog van een heleboel andere factoren afhankelijk is, zoals magnetische veldsterkte, materiaal waaruit de spoel is samengesteld (koper contra aluminium!), de manier waarop de spoel is gewikkeld, de constructie van het chassis, enzovoorts. In de meeste gevallen kan men deze gegevens echter niet betrekken in het ontwerp van de behuizing omdat ze of niet ter beschikking zijn, of erg complex zijn of niet gemeten kunnen worden.

3/7.2.2 Dome-luidsprekers

In tegenstelling tot laagfrequente luidsprekers, waar het voornamelijk aankomt op het uitstralen van grote vermogens, worden aan hoge- en midden-toon luidsprekers eisen gesteld als zo vervormingsvrije weergave en een goede im-

7.2 Luidsprekersystemen

puls-respontie. Dome-luidsprekers voldoen aan deze eisen, omdat de spreekspoel licht is en dezelfde diameter heeft als het membraan. Vanwege de kleine diameter van het membraan is ook de ruimtelijke spreiding van het geluid uitstekend te noemen.
In de meeste gevallen wordt het materiaal waaruit het membraan is opgebouwd verstevigd door het aanbrengen van een of andere lak-laag. De constructie wordt hierdoor stijver, hetgeen het ontstaan van partiële trillingen tegen werkt. Ondanks dat is de kwaliteit van zelfs de beste dome-speaker zeker in het midden-frequent gebied niet te vergelijken met die van een elektrostaat!

3/7.2.3 Bandluidsprekers en magnetostaten

Bij de bandluidspreker zijn membraan en spreekspoel geïntegreerd. Het membraan is opgebouwd uit een dunne zigzag-vormig gevouwen aluminium folie. Deze folie is opgenomen tussen de polen van de magneet en wel zo dat de veldlijnen horizontaal op de folie invallen. Voert men een elektrische stroom door de folie, dan ontstaat er een elektromagnetische kracht en de interferentie tussen dit krachtenveld en het veld van de magneet laat de folie heen en weer bewegen. De bewegende massa van zo'n luidspreker is erg klein, maar het rendement is dat ook en bovendien heeft de aluminium folie een zeer lage elektrische impedantie. De meeste versterkers raken behoorlijk over hun toeren als er een bandluidspreker op wordt aangesloten!
Vanwege al deze beperkingen heeft men de magnetostaat ontwikkeld. Bij dit type luidspreker bevinden zich een aantal magneten niet naast de folie, maar er voor en er achter. De magnetische krachtlijnen spreiden zich in de ruimte tussen noord- en zuidpool uit, het volledige oppervlak van het membraan wordt door het veld beïnvloed. Bovendien zijn de noord- en zuidpolen van de diverse magneten om en om opgesteld, zodat de richting van het magnetische veld voortdurend wisselt. Het is dus niet noodzakelijk dat de stroom door het membraan in slechts één richting vloeit. Vandaar dan ook dat het membraan kan worden opgebouwd uit een dunne kunststof folie, waarop men met behulp van ets-technieken een spoel heeft aangebracht. Een soort geëtste spoel dus, zoals men ze ook wel eens aantreft op de gedrukte bedradingen van hoogfrequent schakelingen!
Niet alleen heeft deze technologie een groter werkzaam oppervlak tot gevolg, waardoor het rendement van de speaker aanmerkelijk stijgt, maar door de keuze van de breedte van de patronen waaruit de geëtste spoel is samengesteld en het aantal "windingen" kan men de impedantie van het geheel op iedere gewenste waarde vast leggen.

In de meeste gevallen worden hoge-toon luidsprekers opgebouwd volgens het magnetostatisch principe met volledig gesloten achterwand uitgevoerd, terwijl midden- en laag-toners volledig open worden gebouwd. Deze luidsprekers stralen dus in beide richtingen uit en hun eigenschappen komen wat dat betreft overeen met die van elektrostaten, die immers ook zowel langs voren als langs achteren uitstralen.
De bewegende massa van magnetostaten is zeer klein en daardoor hebben dit soort luidsprekers een zeer vlak impedantieverloop. De eigen resonantie-frequentie ligt steeds ver beneden de normale door-

laatband en is dus verder van weinig belang.
Een ander voordeel is dat de stijging van de impedantie in functie van de aangelegde frequentie slechts bij zeer hoge frequenties een rol van betekenis gaat spelen. Bij het berekenen van scheidingsfilters hoeft men met deze factor geen rekening te houden.
Kort samengevat komt het er op neer dat magnetostaten redelijk goede luidsprekers zijn, met als voornaamste gunstige eigenschappen:

- gelijkmatig aangedreven massa door het gebruik van meer dan een magneet;
- zeer kleine bewegende massa;
- kleine vervorming en goede impulsweergave;
- zeer vlak impedantie-verloop;
- goede ruimtelijke spreiding.

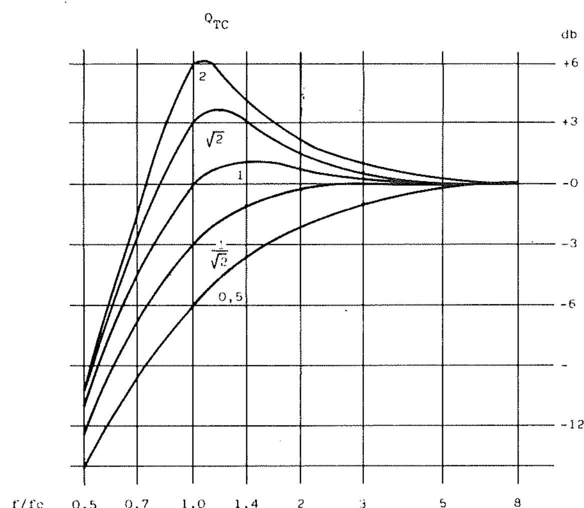
Natuurlijk heeft ook hier kwaliteit zijn prijs! Er zijn ook slechte uitvoeringen van de magnetostaat op de markt, bijvoorbeeld met zeer slechte membraan-demping. Deze types klinken dan ook beduidend slechter dan goede dome-tweeters.
De prijs van een goede midden- of laagtoon magnetostaat ligt beduidend hoger dan die van gelijkwaardige dome- of dynamische luidsprekers. Maar in ruil verkrijgt men in het voor het menselijke gehoor zeer gevoelig liggende frequentiegebied tussen de 200 Hz en enige kHz een beduidend betere haast transparante geluidsweergave, vergelijkbaar met deze van elektrostaten maar zonder de bekende nadelen (ontzettend grote richtingsgevoeligheid en grote impedantie-schommelingen) van dit type.
Bovendien hebben magnetostaten geen dure voedings-apparaten of andere vormen van impedantie-aanpassers nodig!
Voor de zelfbouw van luidspreker-systemen komen de magnetostaten als geen ander type in aanmerking, zowel door hun vrij constante parameters en de daardoor onkritische berekeningen voor scheidingsfilters als door hun goede akoestische eigenschappen. Maar koop wél kwaliteits-luidsprekers!

3/7.3

De kwaliteits-factor Q

3/7.3 De kwaliteits-factor Q

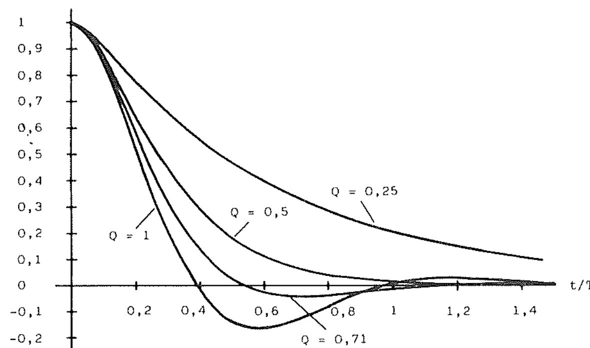
De kwaliteits-factor van een luidspreker, zoals steeds aangegeven met het symbool Q, geeft de verhouding weer tussen de geluidsdruk bij de eigen resonantie-frequentie van de luidspreker en de geluidsdruk bij een veel hogere frequentie. Is de kwaliteits-factor gelijk aan de eenheid, dan is er een lineair verloop in de uitgestraalde geluidsdruk. De kwaliteitsfactor is dus geen constante grootheid, maar verloopt in functie van de frequentie. In de meeste gevallen wordt de Q-factor gegeven in functie van de verhouding f/fc, waarbij fc staat voor de eigen resonantie-frequentie van de speaker. Men onderscheidt twee kwaliteits-factoren: deze voor de luidspreker, opgesteld in de open lucht en aangeduid met de factor Q_{TS} en deze voor de luidspreker, ingebouwd in een behuizing en gedefinieerd door de grootheid Q_{TC}.
Uit de definitie van de Q-factor voor een luidspreker volgt dat men uit de grafiek die het verband legt tussen Q en de verhouding f/fc onmiddellijk de uitgestraalde geluidsdruk voor de diverse frequenties kan aflezen. In figuur 3/7.3a is het verband tussen de frequentie-verhouding en de geluidsdruk voor vijf verschillende Q-curves getekend.



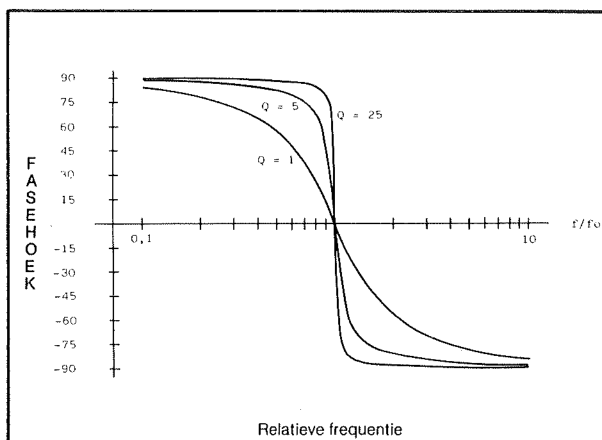
Figuur 3/7.3a: Geluidsdruk in functie van de frequentie met de kwaliteits-factor als parameter.

De kwaliteits-factor Q bepaalt bovendien het fase-verloop in het gebied van de resonantie-frequentie en daardoor ook indirect de puls-weergave van een systeem. Vergeet immers niet dat in de waarde van Q_{TC} zowel de eigenschappen van de behuizing als de elektrische karakteristieken van het scheidingsfilter terug te vinden zijn. De constructie van de kast is een compromis tussen opgewekte geluidsdruk en impuls-gedrag, bij het samenstellen van een scheidingsfilter heeft men te maken met de gewenste steile afsnij-karakteristieken van de verschillende frequentie-banden en daardoor veroorzaakte fase-verschuivingen.

7.3 De kwaliteitsfactor Q



Figuur 3/7.3b: Het natrillen van de conus na een impuls-beweging in functie van de kwaliteits-factor.



Figuur 3/7.3c: Het fase-verloop in functie van de kwaliteitsfactor Q (f_0 is de resonantie-frequentie).

Bij het samenstellen van passieve luidspreker-combinaties streeft men een kwaliteits-factor tussen 0,7 en 1 na. Men kijkt dan eerder naar het opwekken van een zo groot mogelijke geluidsdruk bij lage frequenties dan naar impuls-gedrag!
Wil men een systeem met een zo goed mogelijk impulsgedrag opbouwen dan moet men streven naar een Q-waarde van minder dan 0,5. Deze waarde is immers een grensgeval, waarbij het systeem overgaat naar a-periodische werking. Dat wil zeggen dat na het aanleggen van een eenmalige korte puls het membraan in de kortst mogelijke tijd terug zal keren naar zijn uitgangspositie, zonder het opwekken van eigen na-trillingen en zonder het ontstaan van "ringing" op de beweging. De conus volgt getrouw het verloop van de elektrische puls.
In feite zou men steeds moeten streven naar een kwaliteitsfactor van minder dan 0,5, maar de prijs die daarvoor moet worden betaald ligt nu eenmaal slecht in de commerciële markt. De meeste mensen hebben de slechte gewoonte aangeleerd gekregen dat bassen uit de luidsprekers moeten spuiten en dat is onmogelijk met een kwaliteits-factor die zo klein is. Bovendien heeft een lage kwaliteits-factor een slechte scheidingsfunctie van het filter tot gevolg. In de meeste gevallen zal men dus genoegen moeten nemen met grotere kwaliteits-factoren.

Bovendien zegt een lage Q-factor nog niet alles over de pulsweergave van een systeem. Dit gedrag is ook afhankelijk van de resonantie-frequentie van de luidspreker + behuizing. Hoe hoger deze waarde, hoe sneller de luidspreker zal gaan uitslingeren. Zoals in een vorige paragraaf aangetoond is de geluidsdruk afhankelijk van de waarde van fc. Wil men hier wat aan verbeteren, dan moet men ook nu een geringere geluidsdruk op de koop toe nemen.

De Q-factor bij scheidings-filters

Bij de gebruikte passieve filters bepaalt de waarde van Q in eerste instantie de steilheid en dus de frequentie-scheiding van het filter. Daarnaast geeft de waarde

7.3 De kwaliteitsfactor Q

van Q ook een indicatie over de faseverschuivingen die door het filter worden geïntroduceerd. Meestal gebruikt men Bessel-filters met kwaliteitsfactoren van rond de 0,5 of Butterworth-filters met iets hogere Q-waarden tussen 0,5 en 0,707. Grotere Q-waarden komen niet in aanmerking, want dan wordt de impulsrespontie te slecht.

3/7.4 De bouw van luidspreker-behuizingen

De constructie van een behuizing voor een of meerdere luidsprekers is net zo belangrijk voor de weergave van het geluid als de kwaliteit van de toegepaste luidsprekers (die men in dit kader ook wel eens de chassis noemt) en de samenstelling van het scheidings-filter.
Zeker voor het weergeven van lage frequenties spelen de eigenschappen van de constructie een zeer voorname rol!
Bovendien is het noodzakelijk een laagtoner steeds te combineren met één bepaald soort behuizing, want eigenschappen van chassis en behuizing moeten precies op elkaar worden afgestemd en een luidspreker die het in de ene soort kast uitstekend doet zal allerbelabberdst klinken in een andere behuizing. Voor mid-toners en tweeters spelen de eigenschappen van de behuizing meestal niet zo'n grote rol. In de meeste gevallen hebben deze chassis immers een gesloten achterwand en wat dan overblijft is het bepalen van de meest gunstige inbouwplaats voor de twee of meerdere tweeters en mid-rangers. Deze plaats is van belang voor het verkrijgen van een goede geluidsspreiding!
Het ontwerpen van een behuizing heeft dus alles te maken met de eigenschappen van de laagtoner (woofer): door de directe koppeling tussen het open chassis en de lucht in de kast zijn karakteristieken als volume, vorm, stabiliteit, demping en stijfheid zeer belangrijk.

3/7.4.1 Materialen

Spaanplaat is nog steeds het beste materiaal voor het bouwen van luidsprekerkasten! Door de zeer onregelmatige struktuur heeft dit materiaal een zeer grote interne demping, die absoluut niet te vergelijken is met de demping van bijvoorbeeld meubelplaat van dezelfde dikte. Ook de veel duurdere zeer goed verlijmde multiplex-platen halen het niet bij spaanplaat en zou er in een gebruikte plaat toevallig een verlijmings-fout zitten, dan is de ellende niet te overzien!
Men hoort wel eens het advies dat marmer een uitstekend materiaal is voor luidspreker-kasten. Dit is meer een mode-verschijnsel dan wat anders, want onderzoekingen hebben uitgewezen dat ook marmeren platen last hebben van resonanties die bovendien in een zeer gevoelig gebied van het frequentie-spectrum optreden.
Spaanplaat is relatief goedkoop en men moet dan ook nog eens niet extra gaan besparen op de dikte van de platen. Hoe dikker hoe beter! Zelfs voor een relatief klein kastje van 30 liter inhoud moet men 4 cm dikke platen gebruiken!

3/7.4.2 Vorm van de kast

Zoals reeds gezegd moet men in principe parallel lopende wanden zoveel mogelijk vermijden. Bovendien valt het aan te bevelen alle scherpe hoeken (zowel intern als extern) af te ronden want daardoor schakelt men mogelijke bronnen van secundaire trillingen uit. Zelfs bij het gebruik van plaatmateriaal van 4 cm dikte is het zonder meer noodzakelijk tussen de wanden van de kast verstevigings-balken aan te brengen. Vergeet niet dat er flinke druk-schommelingen in het interne van een kast optreden en dat de grote oppervlakte van een kast-wand een ideale conus is! Door deze balken kan men het druk-maximum, dat tegen de wanden ontstaat, reduceren.

3/7.4.3 Demping

De klankkleur van de lage tonen wordt in een niet geringe mate bepaald door het toegepaste dempings-materiaal. De diverse bruikbare materialen kunnen worden onderscheiden door hun frequentie-selectiviteit en door hun dempings-factor.
De beste materialen die in de handel zijn:
- B.A.F. Wadding;
- langvezelige natuurwol (Bailey Wool);
- Pritex of soortgelijke selectieve geschuimde kunststoffen, meestal van Engels fabrikaat en met een zeer grote dempingsfactor.

Absoluut niet geschikt zijn:
- steenwol;
- glaswol;
- watten.

En dit vanwege hun veel te geringe dempings-factor en frequentie-selectiviteit!

Demping van een gesloten behuizing

Dempings-materiaal moet daar worden aangebracht waar er het meest te dempen is, dus daar waar de snelheid van de drukverplaatsing het grootst is. Zoals verklaard in paragraaf 3/7.1 treedt het eerste maximum op bij een afstand van $\lambda/4$ van de wand van de behuizing. Dit geldt uiteraard alleen voor de grondgolf, maar deze bevat ook veel meer energie dan de harmonischen. De volgende maxima liggen steeds een halve golflengte verder. Het is in de praktijk natuurlijk volstrekt onmogelijk het dempingsmateriaal precies op deze maxima aan te brengen! Niet alleen is de golflengte niet constant, maar waar men absoluut geen rekening mee kan houden zijn alle andere dan de zuivere fundamentele trilling. Vandaar dat men de volledige behuizing met dempings-materiaal opvult, waarbij het echter niet de bedoeling is dat het materiaal er in wordt gepropt. Een losse vulling is goed genoeg. Het beste materiaal voor deze losse vulling is langvezelige natuurwol, want dit reflecteert nauwelijks.

Vergroten van het netto volume

Door het opvullen van de box met dempings-materiaal wordt het effectieve volume van de kast met ongeveer 20% vergroot. Men moet deze stijging incalculeren bij het berekenen van de afmetingen van de behuizing! Doet men dat niet, dan zal men vaststellen dat de effectieve geluidsdruk lager is dan verwacht.

Demping van de bas-reflex kast

Bij dit type behuizing worden de naar binnen uitgestraalde geluidsgolven ge-

bruikt voor het versterken van het naar buiten uitgestraalde vermogen. De toe te passen dempings-stoffen mogen dus slechts selectief werken, wat er op neer komt dat de voor het versterken van de totale geluidsdruk noodzakelijke golven niet mogen worden gedempt. De niet gewenste geluidsgolven (en dat zijn meestal de harmonischen) moeten daarentegen zo goed mogelijk worden onderdrukt.

Pritex is het ideale materiaal voor gebruik in bas-reflex kasten. Zeer grote kasten moeten alleen aan de wanden zelf worden bekleed met dit materiaal. Staande golven worden dan onderdrukt. Kleinere kasten kunnen best wat meer vulling hebben, want de daaruit volgende netto volume-verhoging heeft verbetering van de weergave tot gevolg.

Algemene regels zijn daarvoor in feite niet te geven. Men kan beter experimenteren met verschillende vullings-graden en het effect op het geluidsbeeld in de praktijk toetsen.

Wel moet men bij het berekenen van de afmetingen van de kast ook nu rekening houden met de netto volume-verhoging, die vanwege de kleinere vullings-graad in de buurt van de 10% ligt.

Demping van een transmissie-lijn

Een transmissie-lijn moet zeer doordacht worden gedempt. Bij zo'n type behuizing gaat men immers met opzet eigen kasttrillingen (of liever: luchtresonanties in de kast) opwekken en deze mogen natuurlijk niet verstoord worden door het aanbrengen van dempings-materialen. In de praktijk komt het er op neer dat men alle harmonischen wel moet dempen.

Een tweede belangrijk punt is dat door het aanbrengen van dempings-stoffen de snelheid waarmee het geluid zich door de lijn voortplant niet onbelangrijk kan gaan variëren. Deze snelheidsvariatie is zowel afhankelijk van het soort materiaal als van de pakkingsdichtheid en de dempings-factor.

Er valt dus weinig te berekenen en men doet er verstandig aan de transmissie-lijn eerder wat kleiner dan te groot te ontwerpen. Door het aanbrengen van de dempings-stoffen kan men de effectieve lengte immers vergroten en men kan daarmee zoveel experimenteren als men wil. Het is echter onmogelijk de lengte van de lijn kunstmatig te verkleinen!

Onder normale omstandigheden moet men rekening houden met een terugval van de geluidssnelheid tot onder de 300 m/s. De in de praktijk optredende waarde is afhankelijk van een heleboel factoren, zoals de manier waarop de demping is aangebracht en de gebruikte hoeveelheid materiaal.

Ook nu kan men met succes langvezelige natuurwol toepassen, maar het reeds diverse malen genoemde Pritex en de overige speciaal voor dit doel gefabriceerde kunstschuimstoffen zijn net zo goed bruikbaar.

3/7.5

Luidsprekerbehuizingen

3/7.5.1 Gesloten behuizingen

Het meest eenvoudige systeem voor het weergeven van lage frequenties in de volledig gesloten kast. Zijn de afmetingen van zo'n kast tamelijk groot, dan gedraagt deze behuizing zich ongeveer als het theoretische "oneindig groot klankbord".
De resonantie-frequentie van het totale systeem (dus basluidspreker plus kast) wordt voornamelijk bepaald door de bewegende massa van het membraan en door de som van de stijfheden van de membraan-ophanging en van de in de kast opgesloten lucht. Om de eigenschappen van een bepaald type luidspreker optimaal tot hun recht te laten komen, moet men enige parameters van deze luidspreker kennen. Bovendien is het noodzakelijk de belangrijkste eigenschappen van de gesloten behuizing ter beschikking te hebben.
De meest belangrijke parameters (deze gelden trouwens in principe voor ieder soort behuizing) zijn:

f_3 of f_s	de resonantie-frequentie van de niet ingebouwde luidspreker, gegeven in Hz;
f_c	de resonantie-frequentie van de wél ingebouwde luidspreker, gegeven in Hz;
Q_{TS}	de kwaliteits-factor van de niet ingebouwde luidspreker;
Q_{TC}	de kwaliteits-factor van de wél ingebouwde luidspreker;
V_b	de netto inhoud van de behuizing, in m^3;
m	de membraan-massa, gegeven in kg;
C_{ms}	de stijfheid van de membraan-ophanging, gegeven in m/N;
S_d	het effectieve oppervlak van het membraan, in m^2.

In theorie kan men de frequentie-karakteristieken van het gesloten systeem door een hoogdoorlaat-filter van de tweede orde nabootsen. Onder de resonantie-frequentie valt de geluidsdruk met 12 dB/octaaf af. Men kan een aantal grafieken opstellen, waarbij de frequentie-karakteristiek wordt gegeven in functie van de kwaliteits-factoren Q_{TS} of Q_{TC}. Deze grafieken worden opgetekend met de zogenoemde genormeerde frequentie f_s/f_c als referentie.
Bij het bepalen van de afmetingen van de kast kan men van twee verschillende benaderingen uitgaan. Kiest men voor een zo gunstig mogelijke impuls-weergave dan moet men uitgaan van een kwaliteits-factor van 0,5. Men moet dan echter wel genoegen nemen met een tamelijk snel afnemen van de maximale geluidsdruk! Wil men echter de geluidsdruk zo

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen

constant mogelijk houden, dan moet men kiezen voor een kwaliteits-factor van 1, waarbij men genoegen moet nemen met een slechte impuls-weergave. Zoals steeds moet men in de praktijk een compromis sluiten, waarbij aanvaardbare impuls-weergave samen gaat met redelijk constante geluidsdruk.
Daarnaast moet men bij het berekenen van de afmetingen van de kast ook nog eens rekening houden met de kwaliteitsfactor en de resonantie-frequentie in de vrije lucht van de geselecteerde luidspreker.
In feite komt het er op neer dat men tamelijk weinig speelruimte heeft en men wat de afmetingen van de kast betreft in zeer sterke mate afhankelijk is van de luidspreker!

Het berekenen van een gesloten systeem

Voor het berekenen van een volledig gesloten kast kan men gebruik maken van onderstaande formules.

$$V_{as} = p_o c^2 S_d^2 C_{ms}$$
$$f_s = \frac{1}{2} PI C_{ms} m$$
$$f_c = f_s V_{as}/V_{box} + 1$$
$$Q_{TC} = Q_{TS} f_c/f_s$$

Hierbij stelt V_{as} een luchtvolume voor met dezelfde stijfheid als de membraanophanging.

Uit de derde formule kan men het volume V_{box} van de kast berekenen.

Een voorbeeld

Stel dat men een luidspreker met de volgende gegevens ter beschikking heeft:

$$Q_{TS} = 0{,}1$$
$$f_s = 17 \text{ Hz}$$

Het systeem moet worden berekend op optimale impuls-weergave, dus op $Q_{TC} = 0{,}5$.
Men kan de resonantie-frequentie in ingebouwde toestand berekenen uit:

$$f_c = Q_{TC}/Q_{TS}\, f_s = 0{,}5/0{,}1 \cdot 17 = 85 \text{ Hz}$$

Helaas komt men tot de ontdekking dat de gevonden waarde niet reëel is, men zal dus genoegen moeten nemen met een kleinere waarde voor Q_{TC}! Als men deze parameter gelijk stelt aan 0,2 en deze waarde in de formule invoert, wordt de grootte van de resonantie-frequentie gelijk aan 34 Hz.
Uit de grafieken van figuur 3/7.3.a (pagina 3/7.3.1) volgt echter dat voor de gekozen waarde van Q_{TC} en een frequentieverhouding f_c/f_s van 2 de geluidsdruk al een behoorlijk eind gedaald is! Men kan dan ook onmiddellijk besluiten dat de uitverkoren luidspreker absoluut niet geschikt is om in een volledig gesloten behuizing ingebouwd te worden.
Wil men, om wat voor reden ook, een gesloten systeem gebruiken, dan komt het er op aan vóór de aankoop van een luidspreker te beschikken over de karakteristieken van deze speaker, zodat men eerst kan berekenen of het type wel geschikt is voor het soort behuizing dat men wil bouwen! In feite zijn er maar weinig basluidsprekers op de markt, die geschikt zijn voor inbouw in een volledig gesloten systeem, zeker als men als eis stelt dat de waarde van Q_{TC} gelijk moet zijn aan 0,5.
In de meeste gevallen zal men bij een waarde van Q_{TC} gelijk aan 0,707 een goed compromis kunnen vinden tussen impuls-weergave en het verloop van de geluidsdruk.

3/7.5.2 Basreflex-kasten

Een basreflex-kast is per definitie een speciaal voor het reproduceren van lage frequenties ontworpen behuizing. De voornaamste eigenschap van een basreflex-kast is dat de behuizing is voorzien van een tweede opening. De door de luidspreker uitgestraalde energie wordt dus niet, zoals bij een volledig gesloten systeem, in het inwendige van de kast volledig geabsorbeerd. De naar binnen uitgestraalde golven worden gebruikt voor het via de tweede opening versterken van de geluidsdruk bij lage frequenties. De tweede opening is voorzien van een houten schotje, zodat een soort tunnel ontstaat. Soms wordt er rond het gat zelfs een echte "tunnel" gevormd, door het aanbrengen van vier houten plankjes. Deze tunnel noemt men de reflex-tunnel en de hoeveelheid lucht die zich in deze tunnel bevindt (de afmetingen van de tunnel) moet afhankelijk zijn van de stijfheid van de in de kast opgesloten lucht.
Een algemene wet stelt echter dat de impuls-weergave verslechtert als het aantal energie-bronnen toeneemt. Nu kan men echter de in de reflex-tunnel aanwezige lucht beschouwen als een soort energie-bron. Als immers de conus van de luidspreker een bepaalde impulsvormige beweging heeft uitgevoerd, zal door de stijfheid van de lucht de in de tunnel aanwezige lucht-massa nog een bepaalde tijd natrillen.
Uit deze eigenschap kan men afleiden dat de impuls-weergave van een basreflex-systeem steeds slechter zal zijn dan dat van een vergelijkbaar gesloten systeem.
Nu is het echter aan de andere kant ook een feit dat zo'n volledig vergelijkbaar gesloten systeem veel grotere afmetingen zou moeten hebben om hetzelfde vlakke frequentie-verloop te krijgen als de basreflex-kast. Dat is dan ook hét grote voordeel van de reflex-behuizing: men kan met relatief kleine afmetingen toch een goede laagfrequente weergave verkrijgen. Zo zal een goed afgestemde basreflex-kast 3 dB meer geluidsdruk bij de resonantie-frequentie (inbouw) opleveren dan een volledig gesloten systeem met dezelfde afmetingen. Vergeet daarbij niet dat een factor van 3 dB overeen komt met een verdubbeling van de druk!
Maar daartegenover staat het feit dat het berekenen van de juiste afmetingen van een basreflex-kast heel wat moeilijker is dan deze van een gesloten systeem. Er bestaat nu immers geen lineair verband meer tussen Q_{TC}/Q_{TS} en f_c/f_s. Bovendien is ook het optimaliseren van de impulsweergave en het dempen van de kast tamelijk gecompliceerd.
Bij een juiste afstemming van kast op luidspreker treden er twee even grote weerstands-maxima op in het impedantie-verloop.
Een gesloten systeem heeft slechts één maximum.
Er zijn ook twee minima: een bij de inbouw-resonantie-frequentie f_c en een bij de kastresonantie-frequentie.

Het afstemmen van een basreflex-kast

Voor inbouw in een basreflex-behuizing komen alleen luidsprekers in aanmerking met een Q_{TS}-factor tussen 0,2 en 0,4. Luidsprekers met kleinere factoren geven weliswaar een veel betere impulsweergave, maar het -3 dB punt in de weergave-karakteristiek wordt onaanvaardbaar ver naar boven verschoven. Het -3 dB-punt geeft die frequentie aan, waarbij de geluidsdruk tot de helft van de waarde bij $f_c/f_s = 1$ is teruggeval-

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen

len. Luidsprekers met grotere Q_{TS}-waarden veroorzaken een impuls-weergave die onacceptabel is.

Aan de hand van een voorbeeld worden de diverse bij de berekening noodzakelijke parameters behandeld.
De ter beschikking staande luidspreker heeft onderstaande eigenschappen:

$Q_{TS} = 0{,}37$
$f_s = 40$ Hz
$C_{ms} = 0{,}00105$ m/N
$S_d = 0{,}0246$ m²

Ter herinnering: S_d stelt het oppervlak van het membraan voor. C_{ms} is de stijfheid van de membraan-ophanging.
Het luchtvolume met dezelfde stijfheid als de membraan-ophanging wordt berekend met de formule:

$$\begin{aligned} V_{as} &= p_o\, c^2\, S_d{}^2\, C_{ms} \\ &= 139884 \cdot 0{,}0246^2 \cdot 0{,}00105 \\ &= 0{,}0893\ \text{m}^3 \\ &= 89{,}31\ \text{liter} \end{aligned}$$

Uit de grafiek op de volgende pagina kan men voor een Q-waarde van 0,37 een volume-verhouding van 1,4 aflezen.
Dus:

$$V_{as}/V_{box} = 1{,}4$$

of:

$$\begin{aligned} V_{box} &= 89{,}3\ /\ 1{,}4 \\ &= 64\ \text{liter} \end{aligned}$$

Van de op deze manier berekende optimale behuizings-inhoud wordt meestal 10% afgetrokken vanwege het feit dat het dempingsmateriaal ook een bepaalde volume-factor vertegenwoordigt. Men kan dus stellen dat het netto volume overeen komt met ongeveer 58 liter.
Uit het diagram op de volgende pagina kan men voor de factor h een waarde van ongeveer 1 aflezen. Men kan nadien de resonantie-frequentie van de kast berekenen aan de hand van de formule:

$$\begin{aligned} f_{box} &= f_s \cdot h \\ &= 40 \cdot 1{,}0 \\ &= 40\ \text{Hz} \end{aligned}$$

Men kan in deze berekeningen rustig vrij grof afronden, want vergeet niet dat deze formules niet meer dan benaderende berekeningen geven! Voor het echte werk moet men zonder meer een computer inschakelen!
Uit het nomogram van figuur 3/7.5.2b kan men nadien de ontbrekende gegevens voor het bepalen van de afmetingen van de reflex-tunnel aflezen. Men trekt een lijntje tussen de bekende punten op de volume- en de resonantie-assen (in dit voorbeeld 64 liter en 40 Hz) tot aan de L_v-as. Uit dit punt tekent men een horizontale lijn en kan men dan voor een bepaalde vrij te kiezen tunnel-doormeter d de lengte l (beide grootheden in cm) op de bovenste horizontale as aflezen.
Toch is het van belang de lengte van de tunnel zo klein mogelijk te houden. U gelooft het misschien niet, maar bij lange tunnels hoort men het stromen van de lucht rondom de tunnelwanden!
De houten schotten waaruit men de reflex-tunnel vormt, moeten uit dezelfde plaat-dikte worden gezaagd als de wanden van de kast.

De basreflex-kast als Helmholtz-resonator

In theorie kan men de reflex-tunnel van een basreflex-kast opvatten als een Helmholtz-resonator. Men kan dus de formules voor dit soort resonator zonder meer toepassen op een reflex-kast.
De algemene Helmholtz-formules luiden:

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen

$$f_{box} = \frac{1}{2} PI \sqrt{L_{ak} C_{ak}}$$

waarin:

$C_{ak} = V_{box}/c^2$
$L_{ak} = \zeta/A$

In deze formules zijn:

L_{ak} : de akoestisch werkzame inductie (komt in feite overeen met de luchtmassa in de tunnel);
C_{ak} : de akoestisch werkzame capaciteit;
c : de luchtsnelheid (343 m/s);
ζ : de dichtheid van de lucht (1,293 kg/m^3);
A : het oppervlak van de tunnel (m^2);
R : de tunnel-straal (m);
l : de tunnel-lengte (m)

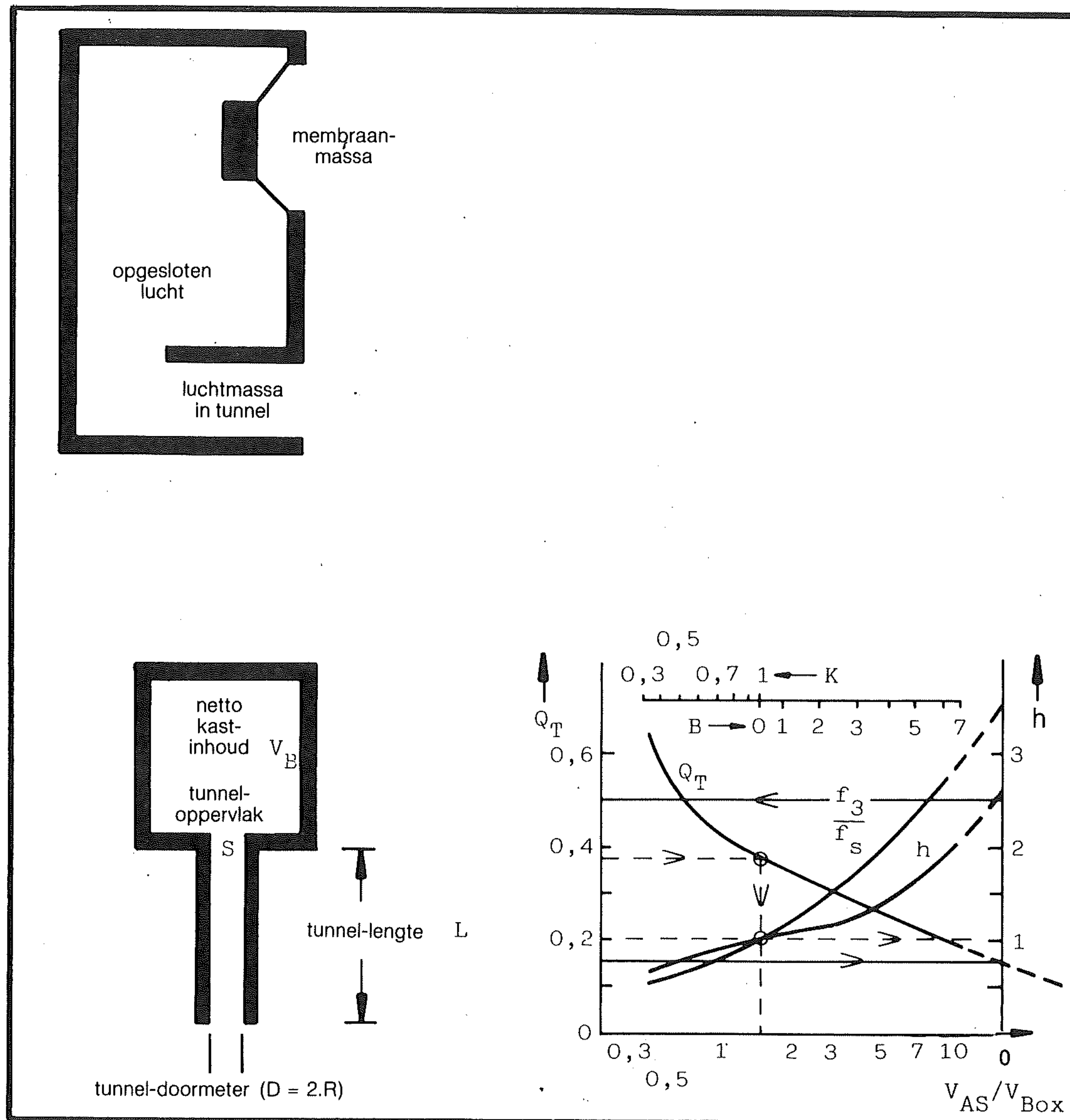
Vervangen van de tunnel door passief membraan

Tegenwoordig worden er vrij vaak basreflex-kasten ontworpen, waarbij de tunnel en de tweede opening zijn vervangen door wat men noemt een passief membraan. Dit is in feite een luidsprekerconus zonder magneet en spreekspoel. De luchtmassa in de tunnel van een basreflex-kast kan door zo'n passief membraan worden vervangen. Dit heeft een aantal voordelen, zoals bijvoorbeeld de onmogelijkheid dat stromings-ruis ontstaat. Het passieve membraan moet dezelfde massa krijgen als de luchtmassa in de tunnel (L_{ak}). In de meeste gevallen kan men de massa van het membraan (eenheid kg/m^2) berekenen uit zijn oppervlak. Het volstaat nadien de berekende waarde door het toevoegen van kleine gewichtjes af te stemmen op de berekende waarde van L_{ak}.

Vergelijking gesloten systeem-basreflex

In de meeste gevallen winnen gesloten systemen het zonder meer van de basreflex-kast als het gaat over de impulsweergave. Wil een gesloten systeem echter de basweergave van een reflex-kast evenaren, dan moet men rekening houden met zeer grote afmetingen! Heeft men de plaats ter beschikking, dan valt een gesloten systeem zonder meer te prefereren boven een reflex-kast.

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen



Figuur 3/7.5.2 -1:
Basis-samenstelling van een basreflex-kast.

Algemene formules voor het berekenen van een basreflex-systeem

$$f_o = \frac{C}{2 . PI} \cdot \sqrt{\frac{S}{V_B . (L + PI/2)}}$$

waarin:

C : snelheid van het geluid (m/s);

S : tunneldoorsnede (m^2)

L : tunnellengte (m)

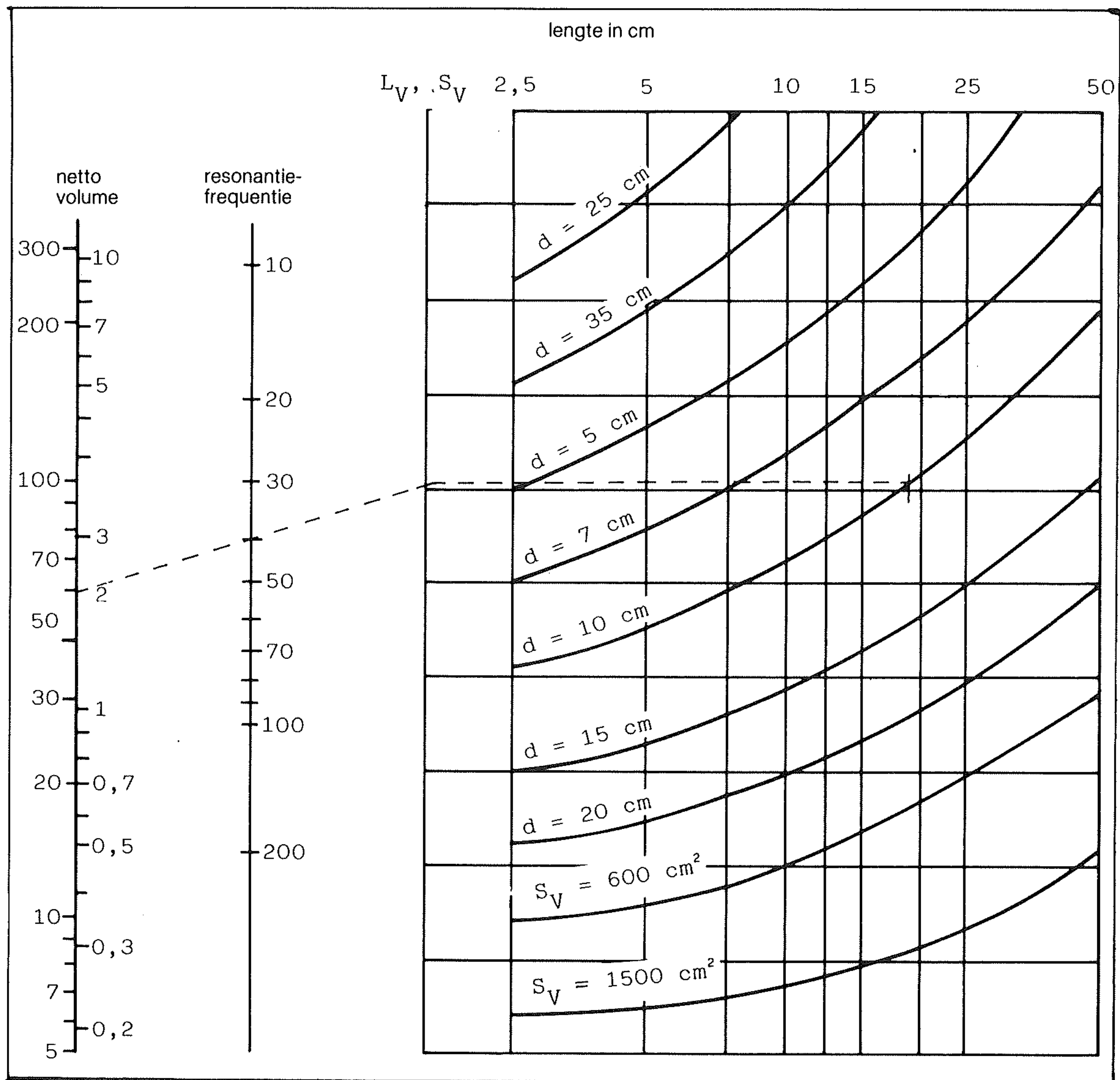
R : tunnel-straal (m)

V_{box} : netto-volume behuizing (m^3)

$$h = \frac{\text{kast-resonantie-frequentie}}{\text{vrije-lucht resonantie-frequentie luidspreker}}$$

$$\frac{f_3}{f_s} = \frac{-3 \text{ dB punt}}{\text{vrije-lucht resonantie-frequentie luidspreker}}$$

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen



Figuur 3/7.5.2 -2:
Nomogram waaruit men de afmetingen van de reflex-tunnel kan aflezen in functie van het volume en de resonantie-frequentie. Deze grafieken houden rekening met het uittreed-effect.

3/7.5.3 Transmissie-lijnen

In feite kan men de transmissie-lijn gelijk stellen aan een soort akoestische leiding, die een bepaalde eigen impedantie heeft en door deze impedantie aangepast is aan de eigenschappen van de basluidspreker. Deze leiding, buis of pijp heeft, afhankelijk van zijn lengte, zeer specifieke resonantie-eigenschappen. Voornamelijk signalen met een golflengte gelijk aan vier maal de lengte van de pijp worden versterkt door de akoestische leiding uitgestraald. Deze frequentie noemt men de resonantie-frequentie van de grond-trilling.
De pijp produceert echter ook nog oneven harmonischen (3, 5, 7, etc), die naar buiten treden bij pijp-lengtes van respectievelijk $3\lambda/4$, $5\lambda/4$, $7\lambda/4$, etc.
Aan deze harmonischen heeft men echter geen boodschap en vandaar dat men de lengte van de pijp zo kiest dat de viervoudige golflengte overeen komt met de resonantie-golflengte in open lucht van de beschikbare luidspreker. Daar de twee geluids-delen (het ene rechtstreeks door de luidspreker uitgestraald, het andere via de pijp) bij deze frequentie in fase zijn zal de werking van de luidspreker optimaal door de pijp worden ondersteund.
Het grootste deel van het geluid wordt echter via de pijp uitgestraald, daar de bas-luidspreker vanwege zijn hoge impedantie bij deze frequentie nauwelijks drukgolven kan produceren. De hogere oneven harmonischen, die zoals gemeld ook door de pijp worden geproduceerd, zijn echter ook in fase met het luidspreker-signaal.
In het algemeen kan men stellen dat het van de golflengte afhangt of een door de pijp uitgestraalde frequentie al dan niet in fase is met het door de luidspreker uitgestraald signaal. Om uit te sluiten dat bepaalde ongewenste signalen in fase uit de pijp treden, moet men in principe alle harmonischen in de pijp zélf dempen. Nu is dat in de praktijk nauwelijks uitvoerbaar en vandaar dat men er genoegen mee neemt alleen de derde en in sommige gevallen ook de vijfde harmonische te dempen. Nu is het niet zo eenvoudig bij dat dempen de grond-trilling ongemoeid te laten! Het zal duidelijk zijn dat iedere demping van dit signaal het gewenste effect van de transmissie-lijn reduceert. Bij te sterke demping wordt het geluidsbeeld kleurloos.

Een te kleine demping van de harmonischen uit zich in zeer onregelmatig verlopende amplitude-frequentie-karakteristieken. De hogere harmonischen kunnen het meest effectief gedempt worden op die plaatsen waar de drukverplaatsingssnelheid het grootst is. Op deze punten kan men immers maximale demping verwachten! Men gaat er voor het gemak van uit dat de trillingen ontstaan in het luidsprekermembraan en berekent de plaatsen waar de maxima optreden. Voor de derde harmonische ontstaat er bij een lengte van $\lambda/12$ (naast het maximum bij $\lambda/4$) nog een tweede maximum. Voor de vijfde harmonische treden er twee extra maxima op.
Op deze te berekenen plaatsen brengt men extra dempingsmateriaal aan, terwijl de rest van de pijp gelijkmatig met dempingsmateriaal wordt gevuld. Zoals reeds in een eerder hoofdstuk gezegd valt het aan te bevelen het materiaal losjes aan te brengen!

Zelfs bij een zeer zorgvuldig uitgevoerde demping zullen er toch niet gewenste signalen worden uitgestraald en zal het

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen

basis-signaal toch in min of meerdere mate worden gedempt. Er zijn verschillende oorzaken voor dit verschijnsel op te sommen. Op de eerste plaats wordt de voortplantings-snelheid van de drukgolven gewijzigd door het aanbrengen van het dempingsmateriaal. Het gevolg is dat de zo zorgvuldig berekende maxima niet helemaal kloppen! Op de tweede plaats zullen er in het dempings-materiaal zélf niet te voorziene oscillaties optreden.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat het niet zo eenvoudig is een transmissie-lijn af te stemmen op een bepaalde luidspreker. Heeft men pech, dan is het noodzakelijk de pijp te verkorten of te verlengen, wat in de meeste gevallen neerkomt op het bouwen van een geheel nieuwe pijp!

De keuze van de juiste luidspreker

Men kan voor een transmissie-lijn alleen basluidsprekers gebruiken die een Q-waarde hebben die groter is dan de eenheid. Dit is de enige garantie voor een zo recht mogelijke frequentie-karakteristiek tot aan de resonantie-frequentie! Luidsprekers met kleinere Q-waarden veroorzaken een zeer steile daling van de geluidsdruk en dit heeft een zeer onregelmatige weergave-karakteristiek tot gevolg. De pijp zorgt immers voor een opslingering in de buurt van de resonantie-frequentie en er ontstaan dus pieken in de weergave-karakteristiek.
Het valt echter niet mee basluidsprekers met de gewenste Q-waarde in de handel te vinden en bovendien hebben de exemplaren die aan de eis voldoen in de meeste gevallen een zeer laag rendement. Hetgeen een zeer lage werkings-graad van het systeem tot gevolg heeft!

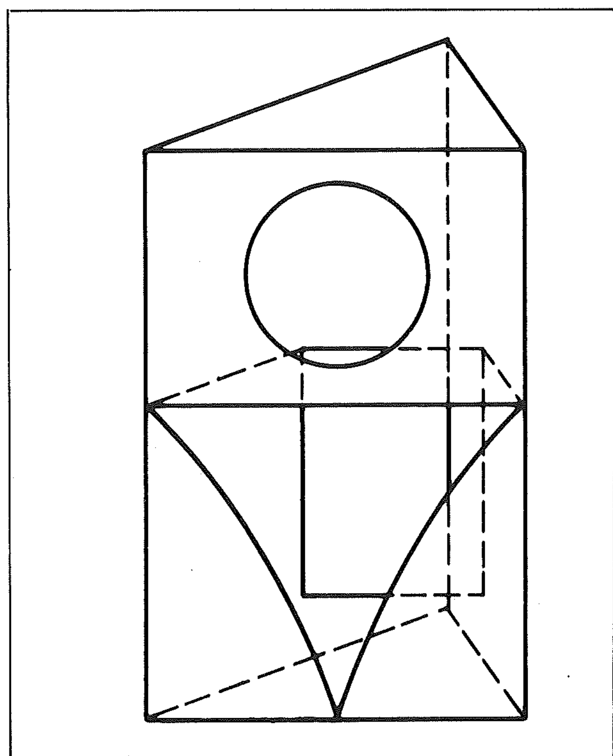
Vergelijking transmissie-lijn met basreflex-kast en gesloten systeem

Het impuls-gedrag van een optimaal afgestemde transmissie-lijn is veel beter dan dat van een basreflex-kast. Zeer goede gesloten systemen doen wat dit specifieke punt betreft echter zeer zeker niet onder voor een transmissie-lijn! Natuurlijk is het aan de andere kant wel een feit dat de gesloten systemen wat hun laagfrequent weergave betreft het zonder meer afleggen tegen een transmissie-systeem.

3/7.5.4 De "Tuned-pipes"

De tuned-pipe vormt een akoestische leiding met als taak het bereiken van een optimale koppeling tussen een basluidspreker en de buitenlucht. De voornaamste eigenschap van zo'n systeem is dat de in ieder ander systeem voorkomende resonanties worden vermeden.
Bij een akoestische leiding met niet-oneindige afmetingen treden er in theorie steeds resonanties op bij de grond-golf en de harmonischen. De oorzaak hiervan is de plotse overgang van kast-systeem naar open lucht. Er ontstaat een plotselinge overgang in het drukverloop en uit dit verschijnsel zijn een heleboel ongewenste verschijnselen te verklaren.
De tuned-pipe is speciaal ontworpen om deze plotse overgang zoveel mogelijk te reduceren. De tuned-pipe heeft dan ook geen opening met constante doorsnede aan het einde van de akoestische leiding (iets wat de basreflex-kast en de transmissie-lijn wél hebben) maar een gat waarvan de doormeter volgens een exponentiële wet groter wordt.

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen



Figuur 3/7.5.4 -1:
Basis-samenstelling van een tuned-pipe

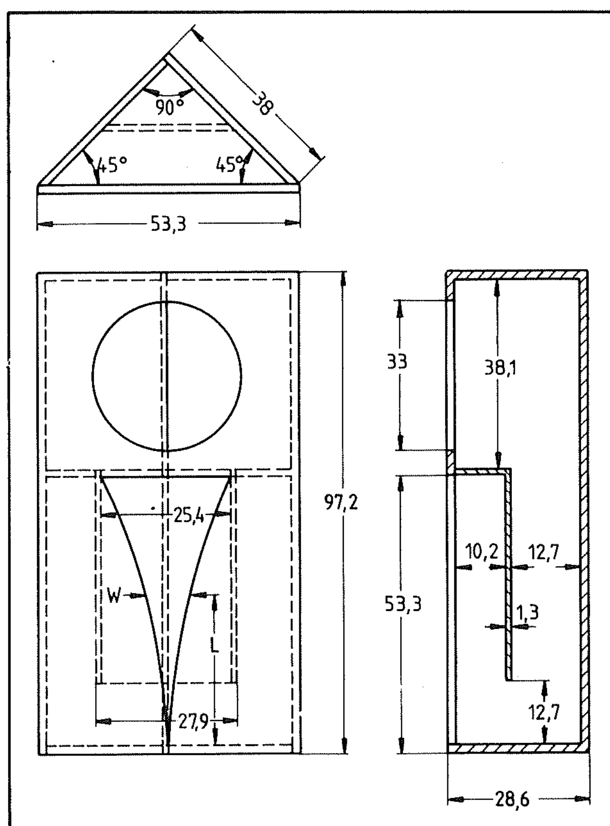
Het principe

Aan het begin van de op dat moment nog kleine opening wordt de geluidsdruk langzaam verminderd. Om deze daling volgens een lineair verloop door te kunnen zetten, moet de doorsnede van de opening steeds groter worden. Vergelijk met de natuurkundige wet $P = F/A$, waarbij bij gelijkblijvende kracht het oppervlak steeds groter moet worden om de druk lineair te laten afnemen.
Uit deze formule volgt duidelijk dat aan het lineaire drukverloop alleen wordt voldaan als de doorsnede volgens een exponentiële wet toeneemt.
De opening heeft een constante zeer hoge stralings-weerstand, zodat de luidspreker optimaal wordt belast. Net zoals bij een exponentiële hoorn zijn geringe membraan-bewegingen toereikend voor het opwekken van de gewenste geluidsdruk. Een rechtstreeks gevolg van deze eigenschap is dat de vervormingen ook minimaal zijn! De meer gebruikelijke constructies, zoals basreflex of gesloten kast, zijn niet in staat tot dergelijke kleine vervormings-percentages.

Als men de tuned-pipe vergelijkt met een hoornluidspreker met gelijke onderste grens-frequentie, stelt men vast dat de resonantie-verschijnselen bij het eerst genoemd type onvergelijkbaar veel kleiner zijn. Dit vanwege de exponentiële stijging van de doorsnede van de opening, die in schril contrast staat tot de opeens optredende grote opening van een hoornluidspreker. Hierdoor ontstaan bij de hoorn allerlei volstrekt oncontroleerbare en niet te voorspellen resonanties rondom de opening.

Heeft de tuned-pipe dan geen enkel nadeel?
Natuurlijk wel! Het grote probleem is de relatie tussen gewenste onderste weergave-frequentie en afmetingen van de kast. Het zal duidelijk zijn dat de exponentiële stijging van de doorsnede van de opening tot zeer grote afmetingen leidt.
Enige voorbeeldjes!
Het exponentiële verloop van de opening wordt gegeven door de formule:
$w = e^{x/25,4} . 2,54$
waarin:
w: de breedte van de opening (cm);
x: de hoogte van de opening (cm)
Het verband tussen de onderste grens-frequentie en de breedte van de opening wordt gegeven door de formule:
$f_g = 217,388/\ln(w/2,54)$

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen



Figuur 3/7.5.4 -2:
Schets van een tuned-pipe kast voor een 15 inch (= 38 cm) luidspreker, alle afmetingen in mm. De driehoek-vormige constructie verhindert het ontstaan van staande golven.

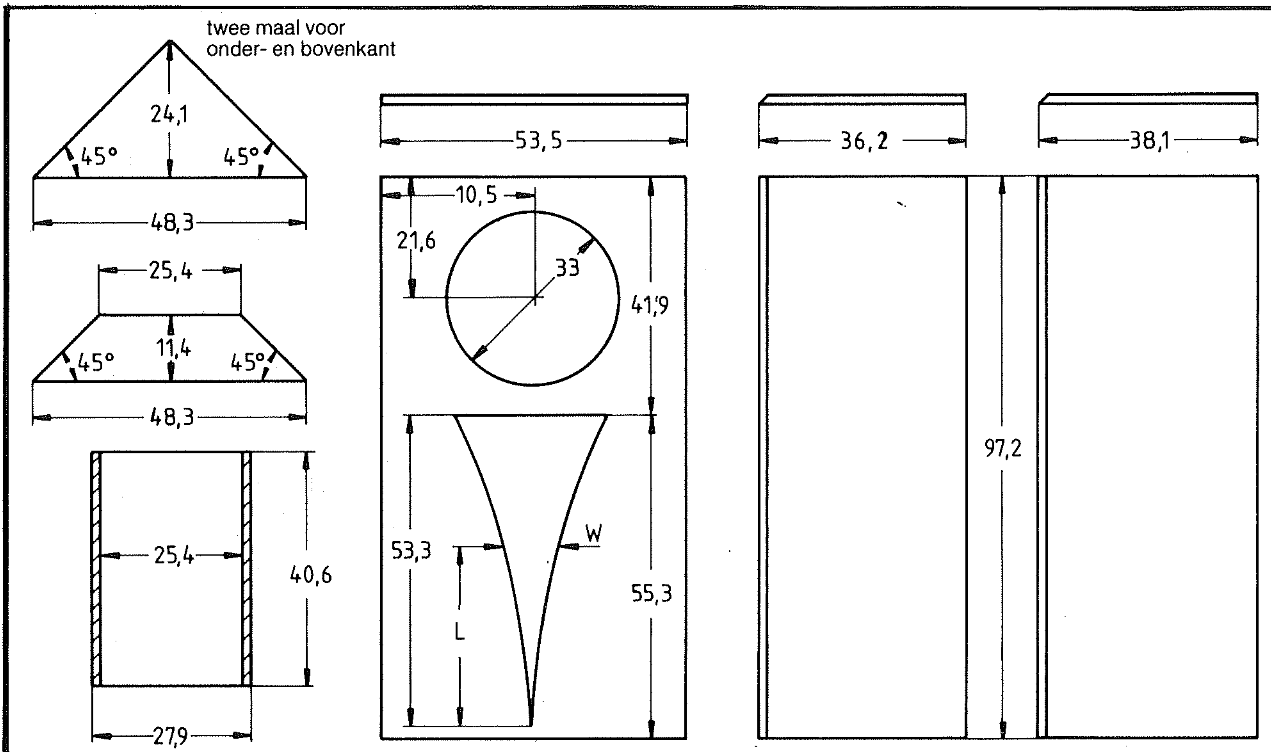
De factor 217,388 is een constante die rekening houdt met de lucht-snelheid c (344 m/s) en de golflengte $\lambda/6$ die overeen komt met de openings-hoogte x.
Aan de hand van deze twee formules kan men de openings-breedte voor enige niet eens zo gek lage grens-frequenties berekenen:

grens-frequentie	openings-breedte
65 Hz	1,00 m
53 Hz	1,50 m
50 Hz	2,00 m
40 Hz	5,77 m

Bovendien kunnen de afmetingen van de kast niet gereduceerd worden door het overvloedig aanbrengen van dempingsmateriaal! Een van de voornaamste eigenschappen van de tuned-pipe is dat men erg spaarzaam met demping om moet gaan. Het rechtstreekse gevolg is dat de geluidssnelheid in de kast niet daalt en dat een verkleining van het netto-volume dus niet mogelijk is.

Tuned-pipe behuizingen zijn dus heel erg mooie, maar zeer theoretische weergevers! Om nu toch gebruik te kunnen maken van de ideale eigenschappen van dit soort behuizing heeft John E. Carlson bepaalde richtlijnen opgesteld waardoor het mogelijk is de afmetingen van de kast aanzienlijk te reduceren.
Het resultaat is de zogenoemde "Carlson-koppelaar". De akoestische transformator van de tuned-pipe blijft behouden, maar er wordt uitgegaan van een basreflex-principe. De basreflex wordt door middel van een akoestisch laagdoorlaat-filter gekoppeld aan een tuned-pipe van ongeveer 80 cm.

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen

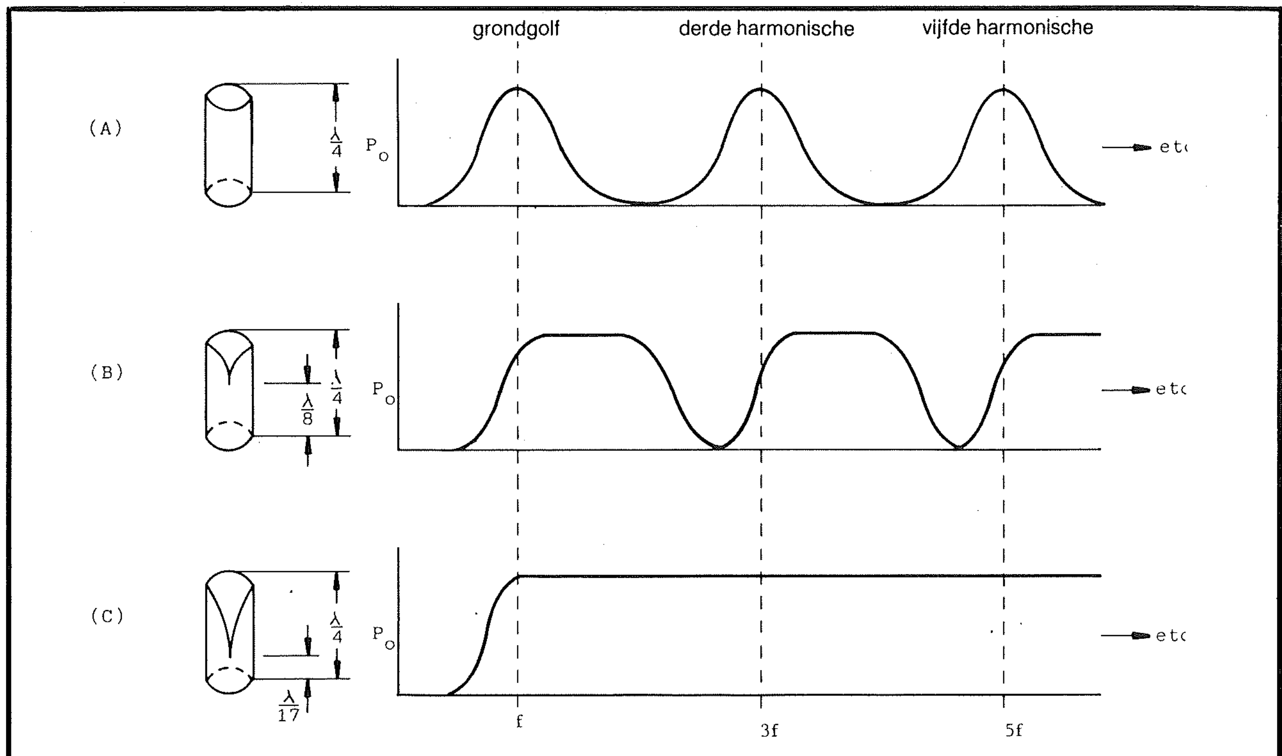


Figuur 3/7.5.4 -3:
Zaag-schema voor de panelen van figuur 3/7.5.4 -2. De afmetingen gelden voor plaatdiktes van 18 mm. Voor 40 mm spaanplaat moet men de buiten-maten vergroten. De binnenmaten moeten constant blijven!

De slechte impuls-weergave van een normale basreflex-kast wordt nu verbeterd, omdat de basluidspreker niet in combinatie met de zeer lage stralings-weerstand van de reflex-opening werkt, maar via het laagdoorlaat-filter is aangesloten op de zeer hoge stralings-weerstand van de tuned-pipe.
Bovendien wordt de kast zo berekend dat de luidspreker zowel bij het naar voren als naar achteren bewegen van zijn conus ongeveer dezelfde stralings-weerstand ontmoet.
De luidspreker wordt dus in beide bewegings-richtingen in gelijke mate belast, wat een goede weergave in niet geringe mate bevordert.

De tuned-pipe weergever werkt, zeker in het hogere bas-gebied zeer dynamisch. Gebruikt men hem echter in kleine ruimtes waar sterke staande golven kunnen ontstaan, dan loont het de moeite de luidspreker te optimaliseren voor het hogere bas-gebied en met opzet af te zien van een zo laag mogelijke weergave, die in deze kleine ruimte toch niet tot haar recht zou komen.

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen



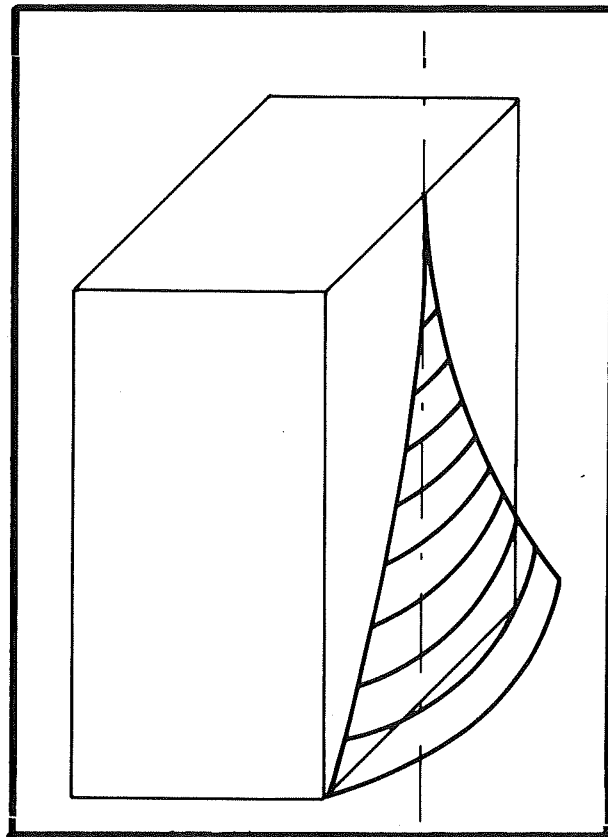
Figuur 3/7.5.4 -4:
Vergelijking van de resonantie-pieken van een transmissie-lijn (afb. A) met deze van twee uitvoeringen van een tuned-pipe.

Het tuned-pipe principe kan ook met succes worden toegepast bij mid-range luidsprekers. De voor lage frequenties onpraktisch grote afmetingen van zowel kast als opening kunnen nu tot normale proporties worden gereduceerd. Wel moet men er rekening mee houden dat bij verkleining van de hoogte van de opening niet meer dezelfde exponentiële formule kan worden gebruikt. In de praktijk reduceert men zowel de openings-breedte als -hoogte met een constante factor, waarbij wordt uitgegaan van de berekende afmetingen van de opening voor de basluidspreker.
Een voorbeeld:

3.7.5 Luidsprekerbehuizingen

$w_{bas} = 100\ \text{cm} \longrightarrow w_{mid} = 50\ \text{cm}$
$x_{bas} = \ 84\ \text{cm} \longrightarrow x_{mid} = 42\ \text{cm}$

De afmetingen van de opening voor de mid-range luidspreker worden dus bijvoorbeeld tot de helft gereduceerd.
Uit deze afmetingen kan men nadien de waarde van de aanpassingsfrequentie f_g ($x = \lambda/6$) afleiden. Omgekeerd is het ook mogelijk uit de bekende waarde van f_g de afmetingen voor x en w te berekenen.



Figuur 3/7.5.4 -5:
Verloop van de geluidsdruk-golven in de exponentiële opening van een tuned-pipe (naar J.E. Karlson).

3/7.6

Scheidingsfilters

Het scheidingsfilter is net zo belangrijk als de keuze van op elkaar aangepaste luidsprekers en de bouw van een goede luidsprekerbehuizing. Ook de beste luidsprekercombinatie, ingebouwd in een zeer zorgvuldig berekende kast zal in combinatie met een slecht scheidingsfilter tot niet meer dan een zeer matige weergave in staat zijn.

De onderdelen voor een scheidingsfilter (weerstanden, speciale condensatoren en dito spoelen) zijn in de meeste detailzaken te koop. In principe lijkt dit dus een terrein dat aangewezen is voor de zelfbouwer! Toch is het berekenen van een scheidingsfilter een zeer complexe zaak en er zijn in feite zelfs geen exacte formules aan te geven. Deze materie is zeer gecompliceerd en luidspreker-fabrikanten beschikken dan ook in de meeste gevallen over een team specialisten die zich bezig houden met het onderzoeken, berekenen en optimaliseren van scheidingsfilters. Dat hierbij de meest moderne onderzoeksmethodes worden toegepast, zoals computer-simulaties en dode kamers, zal wel zonder meer duidelijk zijn.
De niet ervaren doe-het-zelver wordt dan ook dringend afgeraden in het wilde weg te gaan experimenteren met filters. Er zijn ontelbare filters kant en klaar te koop, speciaal ontwikkeld voor beproefde luidspreker-combinaties van de meest bekende merken. Maar ondanks deze waarschuwing zullen wij in dit hoofdstuk toch de formules bespreken waarmee men zélf eenvoudige scheidingsfilters kan ontwerpen.

Filtertheorie

De eenvoudigste uitvoering van een scheidingsfilter is samengesteld uit een weerstand R een een condensator C. De waarde van de weerstand is gelijk aan de gelijkstroomweerstand van de luidsprekerspoel. De schakeling vormt een hoogdoorlaatfilter van de eerste orde met een flanksteilheid van 6 dB per octaaf. Dit wil zeggen dat signalen met een frequentie die onder de grensfrequentie f_g ligt worden verzwakt en wel met 6 dB per octaaf-band. Een octaaf is de frequentieband tussen de frequentie f_1 en de frequentie $2 \times f_1$.

Het eerste probleem is dat een luidspreker geen constante weerstand heeft, maar een wisselstroom-impedantie bezit waarvan de grootte afhankelijk is van de frequentie. Dit verschijnsel wordt uiteraard veroorzaakt door de inductantie van de spoel. Het is dus niet mogelijk voor iedere frequentie de weerstand van het filter gelijk te maken aan de impedantie van de spoel. Men moet dus een equivalente

schakeling samenstellen uit een zuiver ohmse weerstand en een inductantie L. Deze serie-schakeling wordt voorgesteld door de impedantie Z.
Hoogfrequente luidsprekers hebben in de meeste gevallen een tamelijk kleine spoel en dan is de invloed van de inductantie vrij klein en in de meeste gevallen zelfs te verwaarlozen. Grote basluidsprekers zijn echter voorzien van een grote spoel en bij het ontwerpen van filters die in serie met dit soort luidsprekers worden opgenomen moet men terdege rekening houden met het inductieve gedrag van de speaker!

Onderlinge beïnvloeding

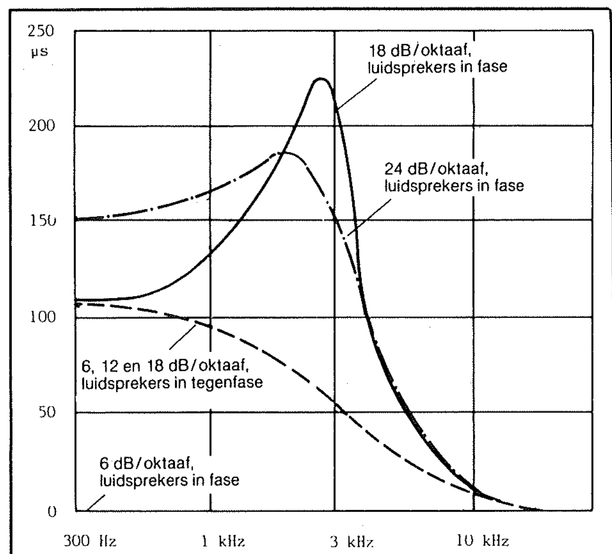
In zeer goedkope (en dus kwalitatief zeer slechte) boxen treft men de in de vorige paragraaf beschreven situatie wel eens aan. De bas-speaker is rechtstreeks met de uitgang van de versterker verbonden, de hoge tonen luidspreker is in serie met een RLC-filter van de eerste orde parallel over de woofer geschakeld.
In de meeste gevallen bestaat een scheidingsfilter echter uit minstens twee takken: een in serie met de lage tonen speaker, een in serie met de tweeter. Bij zeer goede weergevers treft men zelfs drie of vier takken aan!
Bij dit soort gecombineerde filters komen extra moeilijkheden om de hoek kijken. Men kan namelijk niet één tak loskoppelen van het complete filter! Iedere tak beïnvloedt de weergave van het volledige filter en is het om de een of andere reden noodzakelijk een onderdeel van het filter te wijzigen, dan zal men het gehele filter moeten herberekenen.

Soorten filters en hun eigenschappen

Naast het besproken hoogdoorlaatfilter van de eerste orde bestaan er ook tweede, derde en vierde orde filters met steilheden van respectievelijk 12, 18 en 24 dB per oktaaf. Natuurlijk worden er ook laagdoorlaatfilters gebruikt die in combinatie met hoogdoorlaatfilters een bepaalde band uit het frequentiespectrum selecteren voor bijvoorbeeld het sturen van een midrange luidspreker.
Afhankelijk van de sper-karakteristieken hebben de filters een bepaald fase-verloop.
De fase-verschuiving is 90° voor een 6dB filter en stijgt per 90° tot 360° voor een vierde orde filter.

Deze fase-karakteristieken veroorzaken een aantal problemen. Het zal duidelijk zijn dat alleen als de fase-draaiing lineair toeneemt met de frequentie er geen fase-vervormingen optreden bij het weergeven van pulsvormige signalen.
De deel-frequenties waaruit de pulsvormige spanning is samengesteld doorlopen dan de filterschakeling met gelijke snelheid. Dit is echter alleen bij eerste orde filters het geval! Alle filters van een hogere orde veroorzaken fase-vervormingen omdat de deel-frequenties van een samengestelde spanning de filterschakeling met verschillende snelheden doorlopen en er dus van het oorspronkelijke signaal niet veel overblijft.
Het lijkt er op alsof het aan de luidspreker-combinatie aangeboden signaal in stukken gescheurd wordt, die ieder op verschillende tijdstippen door de diverse luidsprekers worden weergegeven.

7.6 Scheidingsfilters



Figuur 3/7.6 -1: Looptijdvertraging van een tweeweg-systeem met een overgangs-frequentie van 3 kHz, geldig voor Butterworth-filters van eerste tot vierde orde.

In figuur 3/7.6 -1 is de looptijd van signalen met verschillende frequenties door de verschillende soorten filters getekend. Uit deze grafiek kan men afleiden dat vierde orde filters de grootste looptijdverschillen vertonen en dus ook de sterkste fase-vervormingen veroorzaken. Lage en midden frequenties worden erg vertraagd ten opzichte van de hoge frequenties. Uit deze grafiek kan men ook afleiden dat tweede en derde orde schakelingen in min of meerdere mate een lineair verband tussen de looptijdvertraging en de frequentie bezitten.
Het wordt nu ook duidelijk waarom bij sommige filters de luidsprekers in tegenfase moeten worden aangesloten! Dit is de meest voor de hand liggende methode om looptijdvertragingen die in het door de luidspreker te verwerken frequentiegebied een faseverschuiving over ongeveer 180° veroorzaken, te compenseren.

Een andere methode die soms wordt toegepast is het naar voren of naar achteren verplaatsen van de luidsprekers. Zo kan men bijvoorbeeld de looptijdvertraging die door het filter in een bas-weergever ontstaat enigszins compenseren door de luidspreker enige centimers verzonken in de (dikke) frontplaat te monteren en de tweede luidspreker gewoon op de achterzijde van de frontplaat te schroeven. Deze enige centimers zijn, zoals onderstaand voorbeeldje zal aantonen, vaak voldoende om het looptijdverschil op te vangen.

Voorbeeld

In een tweeweg-systeem bedraagt de kantel-frequentie 3 kHz. Dit wil dus zeggen dat in principe alle signalen met een frequentie kleiner dan 3 kHz door de basluidspreker moeten worden weergegeven en alle signalen met een frequentie van meer dan 3 kHz door de tweeter. Voor het splitsen van de frequentieband wordt een tweede orde filter toegepast.
Uit de grafiek van figuur 3/7.6-1 kan men afleiden dat de looptijdvertraging voor signalen beneden de 3 kHz gemiddeld 75μs bedraagt en de vertraging voor signalen in de hogere band gemiddeld 30 μs.
Zoals reeds vaker in dit luidsprekerhoofdstuk opgemerkt, moet men niet schromen met grote afrondingen of ruwe gemiddelden te werken! De ideale luidspreker kan niet ontworpen worden en iedere maatregel ter verbetering is slechts een compromis. Bovendien moet men in dit specifieke geval wel met groffe gemiddelden werken, want het is natuurlijk onmogelijk de plaats van de luidsprekers voor iedere frequentie te veranderen! Misschien een leuk idee voor die zeldza-

me elektronica tijdschriften die nog aan april-nummer grappen doen!
Maar goed, terug naar ons voorbeeld. De tijdvertraging tussen de frequenties die door de woofer worden weergegeven en de frequenties die door de tweeter worden uitgestraald bedraagt dus:
$75\mu s - 30\ \mu s = 45\ \mu s$
Het geluid legt in een seconde ongeveer 344 meter af en men kan dus berekenen dat een vertraging van 45 μs overeen komt met een afgelegde weg van ongeveer 1,5 centimeter. Door nu de bas-luidspreker 1,5 cm verzonken in de frontplaat te monteren kan men de invloed van de niet constante looptijd enigszins compenseren.

Tussen haakjes kan worden opgemerkt dat het op deze manier ook mogelijk is de verschillen in stijgtijden (de tijd die een conus nodig heeft om te reageren op een snelle voorflank van een puls) tussen de toegepaste luidsprekers te compenseren.

Het 6dB filter

Eerste orde filters veroorzaken de kleinste fase-fouten, maar daar tegenover staat dat deze filters zeer slechte frequentiescheiding eigenschappen bezitten. De toegepaste luidsprekers moeten als gevolg van deze slechte eigenschappen ver onder en boven de scheidingsfrequentie werken. Dit heeft een aantal nadelen, zoals het feit dat luidsprekers dan niet meer volledig belast kunnen worden en de akoestische eigenschappen van de conussen verre van ideaal zijn.
De woofer wekt meestal niet gewenste partiële trillingen op (vanwege de te hoge frequentie die deze luidspreker te verwerken krijgt), de tweeter wordt in de buurt van zijn eigen resonantie aangestuurd (met als gevolg grote vervormingen of zelfs onder bepaalde ongunstige condities vernieling van de ophanging). Ondanks de goede fase-eigenschappen worden eerste orde filters dan ook nooit toegepast bij hoogwaardige weergeefsystemen!

De invloed van de werkingsgraad

In de meeste gevallen zullen de gebruikte luidsprekers niet dezelfde werkingsgraad hebben. Dit wil zeggen dat het rendement niet gelijk is of dat gelijke hoeveelheden elektrisch vermogen niet gelijke hoeveelheden geluid produceren.
Deze rendement-verschillen kunnen worden gecompenseerd door in de verschillende takken van het scheidingsfilter dempingsweerstanden op te nemen. Men mag echter nooit extra weerstand aanbrengen in het woofer-circuit, want vergeet niet dat extra ohmse weerstand altijd leidt tot verslechtering van de impulsweergave!
Het dempen van een filter wordt altijd uitgevoerd door het aanbrengen van twee extra weerstanden, omdat anders de totale weerstand van het filter varieert en het simpelweg aanbrengen van een weerstand in serie met de luidspreker de impulsweergave in negatieve zin beïnvloedt.
In principe moet men ook de inductantie van de spoel in de berekeningen opnemen. In de meeste gevallen kan men deze factor echter verwaarlozen, vergeet niet dat een filter steeds zeer benaderingsgewijs berekend wordt.

De formules voor het compenseren van de werkingsgraad zijn:

$R_1 = R_{sch} - R_{sch}/D$
$R_2 = R_{sch}/(D - 1)$
$D_{(dB)} = 20_{\log D}$
$D_{(dB)}/20$
$D = 10\ D_{(dB)}/20$

Waarin:

R_1 = serie-weerstand
R_2 = parallel-weerstand
R_{sch} = weerstand van de spreekspoel
D = dempingsfactor

Voorbeeld

Een driewegsysteem is voorzien van luidsprekers met de volgende eigenschappen:
- een woofer met een werkingsgraad van 94 dB (1 W, 1 m);
- een midranger met een werkingsgraad van 97 dB;
- een tweeter met een werkingsgraad van 95 dB.

De weerstand van de spreekspoel van de midranger is gelijk aan 6,4 Ohm.
Men kan gemakkelijk uit deze gegevens afleiden dat de verzwakking van de midranger ten opzichte van de woofer gelijk is aan:
97 dB - 94 dB = 3 dB
Men kan nu de dempingsfactor berekenen:
$D = 10^{3/20} = 1{,}413$
De serie- en parallel-weerstanden voor de midranger:
$R_1 = 6{,}4 - 6{,}4/1{,}413 = 1{,}87$ Ohm
$R_2 = 6{,}4 /(1{,}413 - 1) = 15{,}5$ Ohm
Deze waarden kunnen uiteraard naar de dichtstbijzijnde E-12 weerstanden worden afgerond. Vergeet niet dat er heel wat vermogen in deze weerstanden wordt gedissipeerd en dat het dus noodzakelijk is draadgewonden exemplaren te gebruiken!

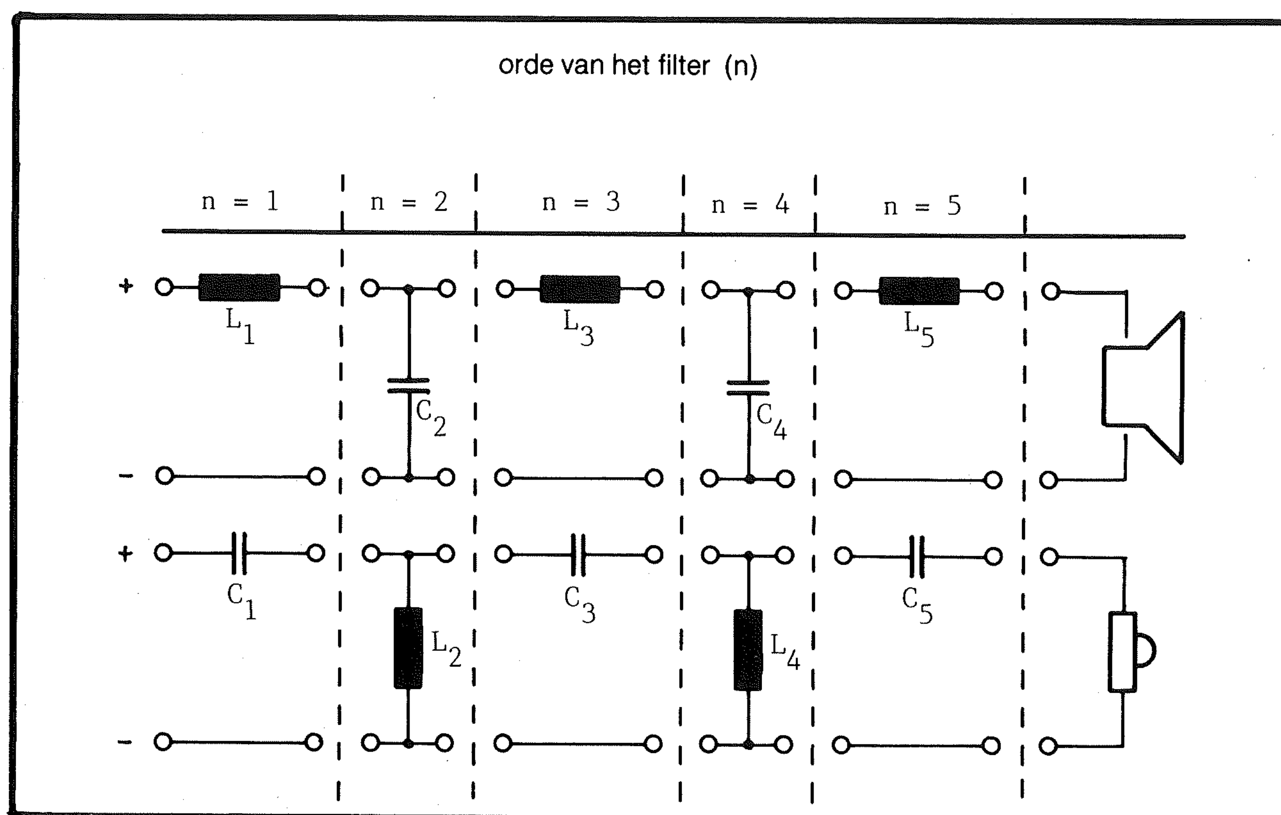
3/7.6.1 Het zelf ontwikkelen van een scheidingsfilter

Hoewel uit het voorgaande duidelijk blijkt dat het ontwerpen van zelfs de meest eenvoudige scheidingsfilters geen sinecure is willen wij in deze paragraaf toch een poging wagen enige benaderings-formules te geven voor het zélf samenstellen van tweeweg-systemen van eerste, tweede, derde en vierde orde.
Wil men om de een of andere persoonlijke reden weergevers samenstellen uit luidsprekers van verschillend fabrikaat, dan blijft trouwens niets anders over dan zelf aan de slag te gaan!

Naast de flanksteilheid kan men filters ook onderscheiden naar hun karakteristieken. Bij scheidingsfilters worden in de meeste gevallen slechts twee types toegepast, namelijk Bessel- en Butterworth-filters.

Bessel-filters hebben tamelijk slechte scheidingskarakteristieken, maar beschikken over uitstekende impuls- en fase-eigenschappen. De filters van het Butterworth-type vormen een goed compromis tussen frequentie-scheiding, impulsweergave en fasegedrag. Schakeltechnisch gezien is er geen onderscheid op te merken tussen beide soorten. De verschillen ontstaan alleen door de dimensionering van de verschillende onderdelen waaruit het filter is samengesteld.

7.6 Scheidingsfilters



Figuur 3/7.6.1 -1: De noodzakelijke onderdelen voor het samenstellen van tweeweg-filters van eerste tot en met vijfde orde. De plus en min verbindingen worden parallel geschakeld.

Butterworth-Filter

n	L_1	(C_1)	L_2	(C_2)	L_3	(C_3)	L_4	(C_4)	L_5	(C_5)
1	1	(1)								
2	1,41	(0,707)	1,41	(0,707)						
3	1,5	(6,67)	0,75	(1,33)	0,5	(2)				
4	1,531	(0,65)	0,63	(1,577)	1,082	(0,92)	2,61	(0,383)		
5	1,545	(0,64)	0,59	(1,694)	1,382	(0,72)	1,12	(0,894)	0,309	(3,24)

Bessel-Filter

n	L_1	(C_1)	L_2	(C_2)	L_3	(C_3)	L_4	(C_4)	L_5	(C_5)
1	1	(1)								
2	1,362	(0,734)	2,204	(0,454)						
3	1,463	(0,684)	1,187	(0,843)	0,293	(3,417)				
4	1,501	(0,666)	1,022	(0,978)	0,613	(1,632)	4,731	(0,211)		

Tabel 3/7.6.1 -1: Factoren voor het berekenen van de onderdelen van figuur 3/7.6.1 -1, volgens de in de tekst gegeven formules.

7.6 Scheidingsfilters

Figuur 3/7.6.1-1 geeft een overzicht van de gebruikte schakelingen voor eerste, tweede, derde, vierde en vijfde orde filters. Iedere hogere orde ontstaat door aan de configuratie van de lagere orde één onderdeel extra toe te voegen.
Een tweede orde filter is dus volgens dit schema samengesteld uit de spoel L_1 en de condensator C_2 voor de woofer en de condensator C_1 en de spoel L_2 voor de tweeter.
Voor een vijfde orde filter moeten alle drie afzonderlijke delen van het schema met elkaar worden verbonden.

In tabel 3/7.6.1-1 worden de verschillende onderdelen van het filter gekarakteriseerd door getallen. Deze getallen worden in onderstaande formules gebruikt voor het berekenen van de waarde van de spoelen en condensatoren. Het zal wel duidelijk zijn dat de factor n de orde van het filter bepaalt.

Voor de spoelen geldt de formule:

$$L = \text{tabelwaarde} \times \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_c}$$

Voor de condensatoren:

$$C = \text{tabelwaarde} \times \frac{Z}{2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot Z}$$

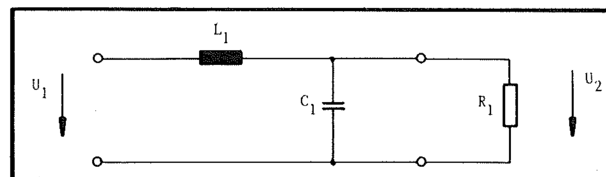
Hierin is:
Z = impedantie van de spreekspoel van de luidspreker

f_c = de gewenste scheidings-frequentie

3/7.6.2 Speciale filter-constructies

Tweeweg-systeem met 12 dB Bessel-filter

Hoewel zoals reeds gezegd Butterworth-filters het beste compromis vormen, kan men bij tweeweg-systemen ook zeer goede weergevers opbouwen met Bessel-filters. Hoewel de scheiding niet optimaal is weegt dit nadeel niet op tegen de zeer goede impuls- en fase-eigenschappen van dit soort filters.
Bij een kwaliteitsfactor van 0,5 wordt een zeer evenwichtige geluidsdruk-verdeling tussen beide speakers bekomen. Het tweede grote voordeel is dat er geen faseverschuivingen optreden tussen de lage en hoge tonen chassis. De algemene faseverschuiving van het volledige systeem verloopt zeer lineair. Hetzelfde kan gezegd worden van de looptijdvertraging.



Figuur 3/7.6.2 -1: Woofer-deel van een 12 dB Bessel-filter.

Het filter-gedeelte voor de lage tonen luidspreker wordt aan de hand van figuur 3/7.6.2-1 als volgt berekend.

$$L_1 = \frac{R_1}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Q} \text{ (H)}$$

$$C_1 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R_1} \text{ (F)}$$

Waarin:

f_0 = scheidings-frequentie

7.6 Scheidingsfilters

$Q_{opt} = 0{,}5$

R_1 = weerstand van de spreekspoel van de woofer

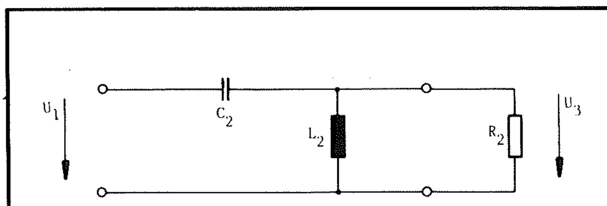
De verhouding tussen in- en uitgangsspanning wordt gegeven door:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\frac{f_o}{f})^2)^2 + (\frac{f_o}{Q\,f})^2}}$$

Het fase-verloop tussen in- en uitgang volgt uit:

$$\varphi_{21} = \arctan\left(\frac{\frac{f}{Q\,f_o}}{1 - (\frac{f}{f_o})^2}\right)$$

De onderdelen voor de hoge tonen luidspreker (zie figuur 3/7.6.2 -2):



Figuur 3/7.6.2 -2: Tweeter-deel van een 12 dB Bessel-filter.

$$L_2 = \frac{R_2}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot Q}$$

$$C_2 = \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot R_1}$$

Waarin:

R_2 = weerstand van de spreekspoel van de tweeter

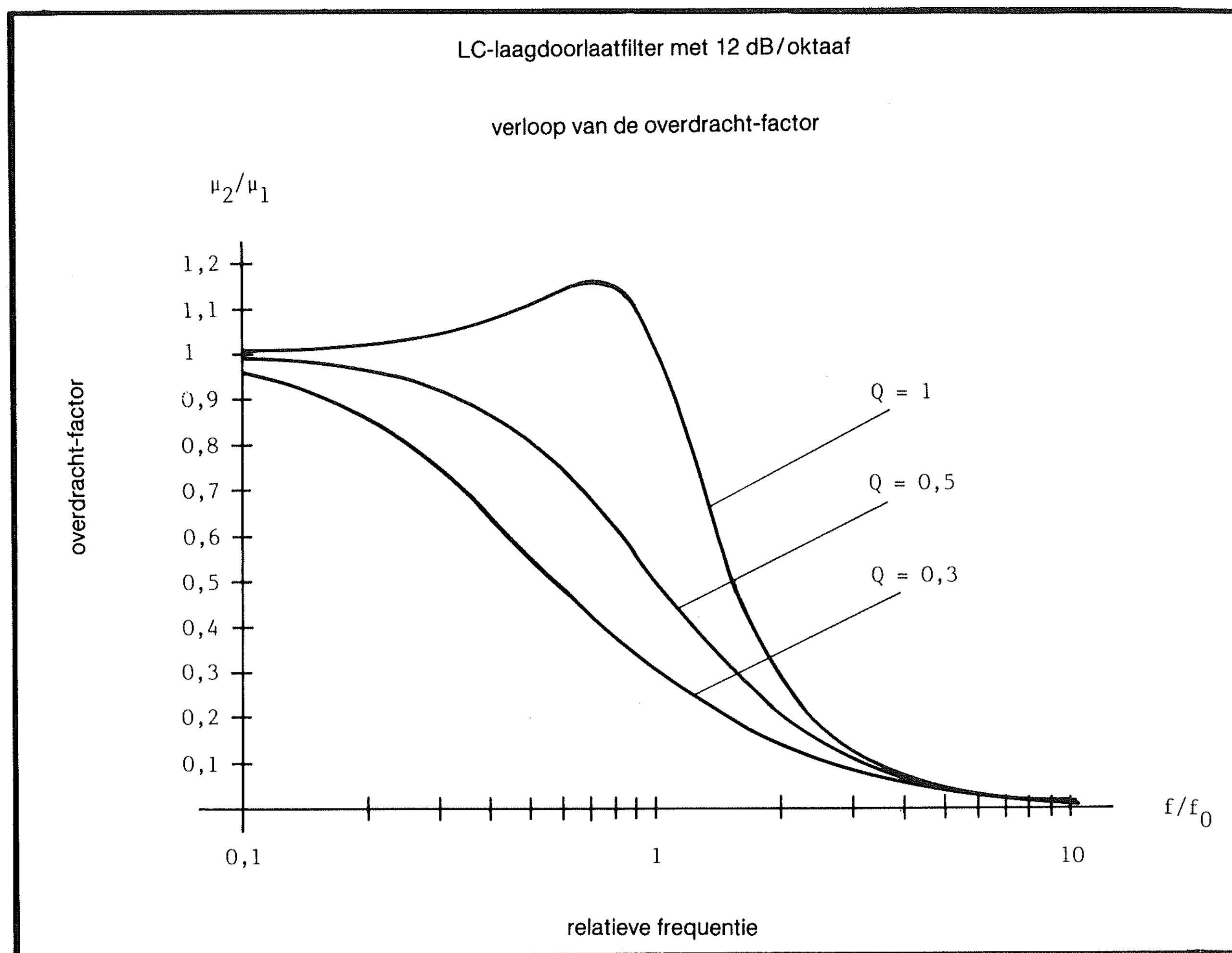
De verhouding tussen in- en uitgangsspanning:

$$\frac{U_3}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{(1 - (\frac{f}{f_o})^2)^2 + (\frac{f}{Q\,f_o})^2}}$$

Het fase-verloop:

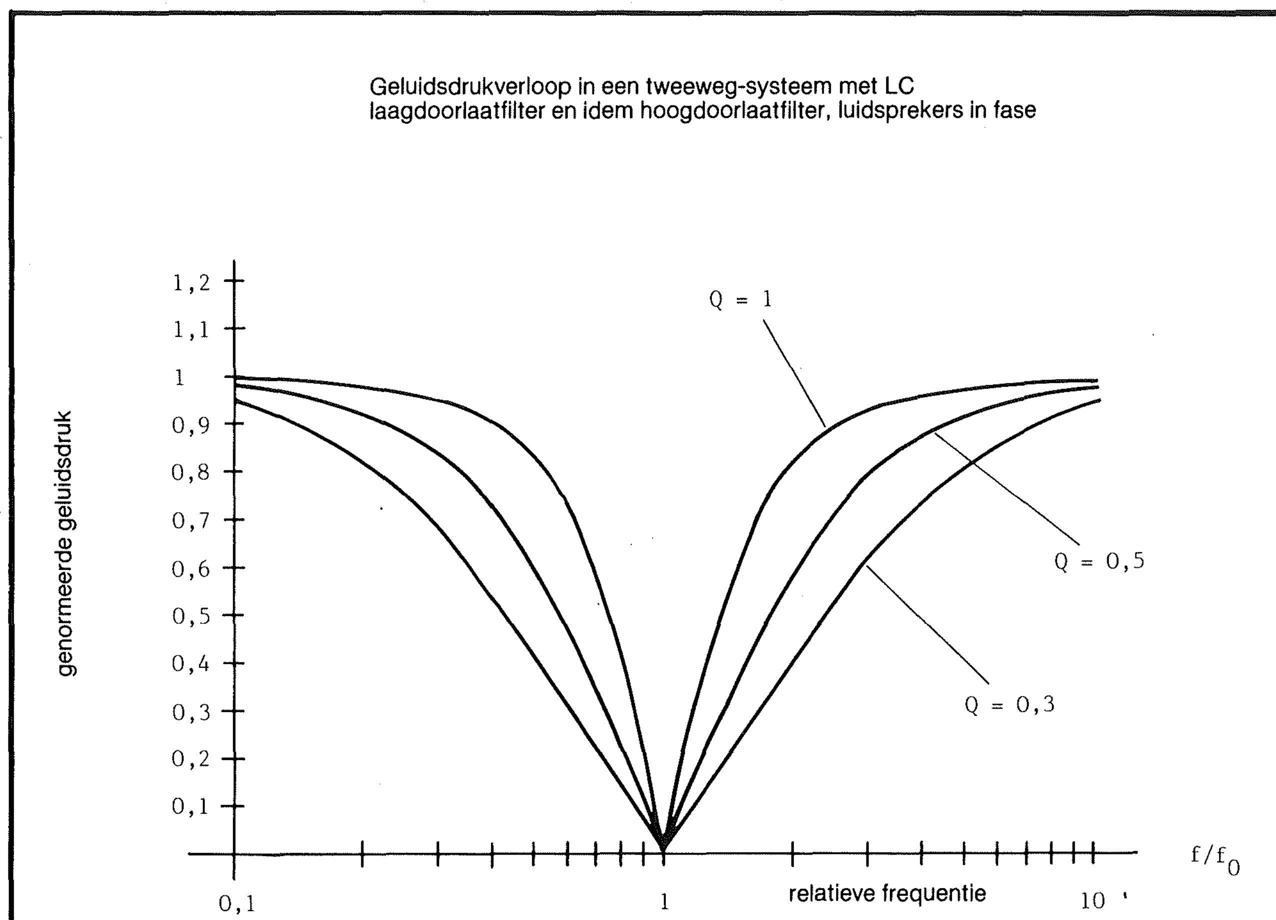
$$\varphi_{31} = \arctan\left(\frac{\frac{f_o}{Q\,f}}{1 - (\frac{f_o}{f})^2}\right)$$

7.6 Scheidingsfilters



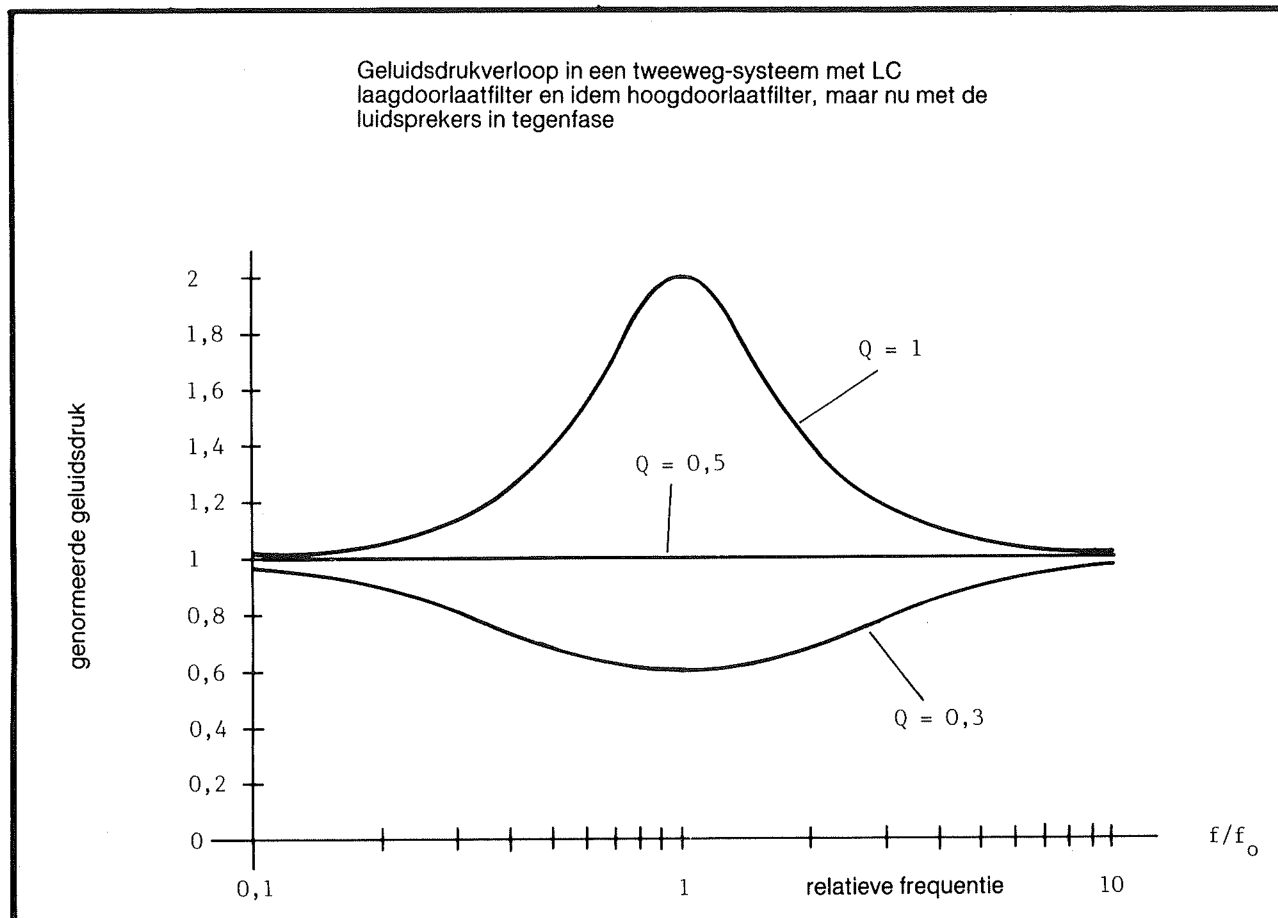
Figuur 3/7.6.2 -3: Overdracht-factor voor verschillende waarden van de kwaliteits-factor Q.

7.6 Scheidingsfilters



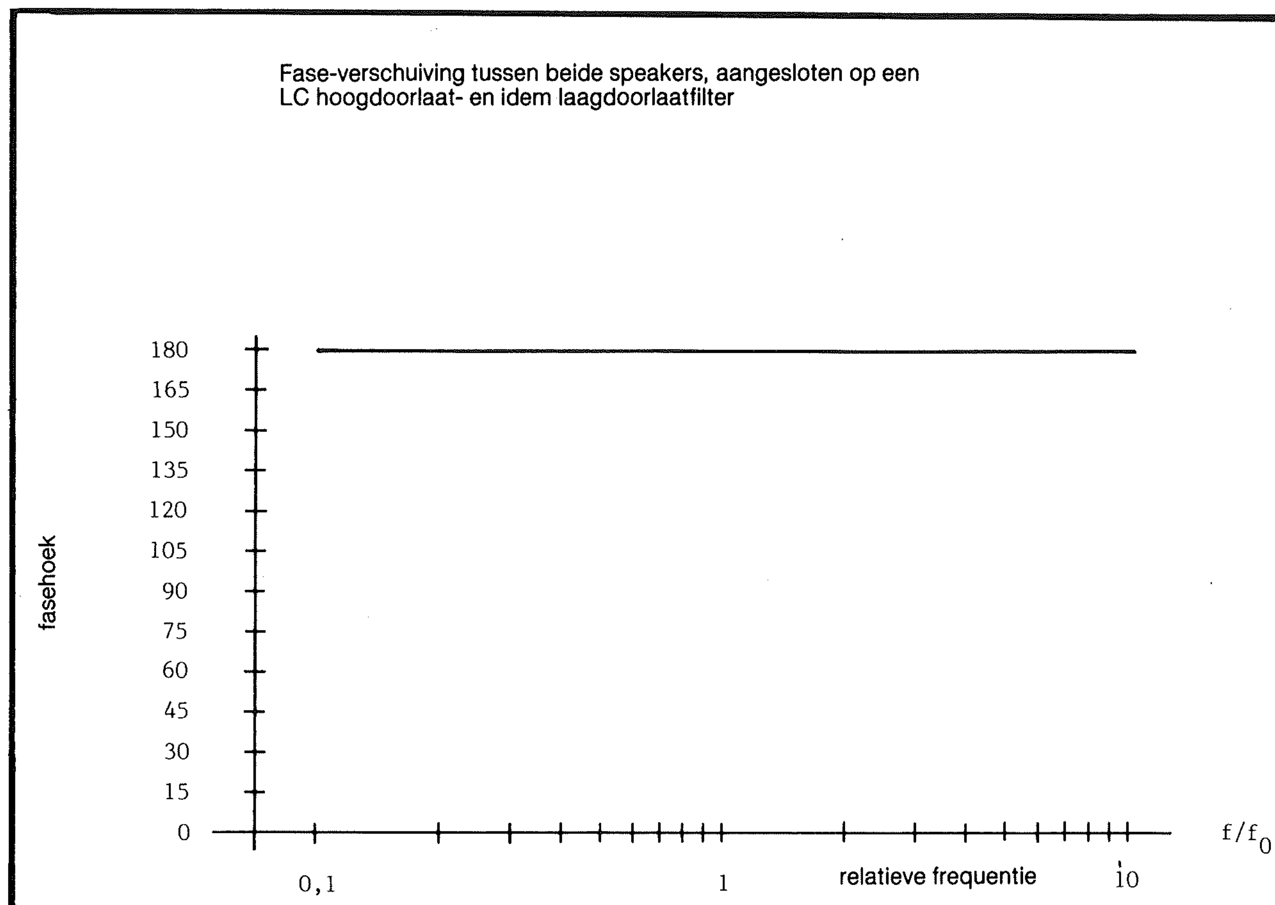
Figuur 3/7.6.2 -4: Het verloop van de geluidsdruk in functie van de relatieve frequentie voor verschillende waarden van de kwaliteits-factor Q.

7.6 Scheidingsfilters



Figuur 3/7.6.2 -5: Het verloop van de geluidsdruk in functie van de relatieve frequentie met de waarde van de Q-factor als parameter. Bij Q = 1 treedt er bij f/f_0 een verdubbeling van de geluidsdruk op!

7.6 Scheidingsfilters



Figuur 3/7.6.2 -6: Het fase-verschil tussen de signalen aan de klemmen van de tweeter en woofer is onafhankelijk van de frequentie en gelijk aan 180°. Bij het in tegenfase sturen van een van de luidsprekers wordt het fase-verschil dus gelijk aan nul.

De Filler-driver

Bij weergevers die zijn samengesteld uit drie luidsprekers kan men gebruik maken van de zogenoemde Filler-driver voor het optimaliseren van het fase-verloop. De middenfrequent luidspreker (de Filler-driver) wordt bij dit systeem gevoed uit een 6 dB banddoorlaatfilter, terwijl de lage en hoge tonen luidsprekers via 12 of 18 dB filters worden gestuurd. Om een zo lineair mogelijke totale weergave-karakteristiek te verkrijgen moet de middentoner over minstens 4 octaven lineair weergeven en bij 18 dB filters voor de twee overige luidsprekers een 6 dB hogere werkingsgraad hebben dan de twee andere speakers.

3/7.6.3 Frequentie-compensatie

De spreekspoel van de luidspreker is opgebouwd uit de serie-schakeling van een Ohmse weerstand (de weerstand van de windingen van de spoel) en een inductantie.

7.6 Scheidingsfilters

Bij lage frequenties wordt de totale impedantie hoofdzakelijk bepaald door de waarde van de Ohmse weerstand, maar naarmate de frequentie stijgt zal de invloed van de inductantie steeds meer merkbaar worden. De impedantie van een spoel neemt immers lineair toe met de frequentie.
Het gevolg van dit verschijnsel is dat de berekeningen niet meer kloppen. Men kan echter een frequentie-compensatie aanbrengen door over de luidspreker een RC-netwerk parallel te schakelen. De waarde van deze onderdelen kunnen berekend worden aan de hand van onderstaande formules:

$R_{comp} = R$

$C_{comp} = L/R^2$

Waarin:

R = gelijkstroomweerstand van de luidspreker

L = inductiviteit van de luidsprekerspoel

R_{comp} = parallel te schakelen weerstand

C_{comp} = parallel te schakelen condensator

3/7.6.4 Onderdelen voor scheidingsfilters

Het zal duidelijk zijn dat aan de onderdelen die voor de bouw van scheidingsfilters in aanmerking komen speciale eisen gesteld worden en dat men kwalitatief zeer hoogwaardige onderdelen moet toepassen. Vergeet niet dat er heel wat vermogen aan een weergever wordt aangeboden en dat een deel van dat vermogen door de onderdelen van het filter wordt opgenomen.

Weerstanden

Gebruik draadgewonden weerstanden van voldoende vermogen! Hoewel dit soort onderdelen natuurlijk ook een inductief karakter bezitten is de waarde van L zo klein dat men er in het laagfrequente bereik geen last van heeft. Het is dus niet noodzakelijk speciale zeer dure inductie-arme draadgewonden weerstanden (de zogenoemd bifilair gewikkelde) toe te passen.

Spoelen

Een exacte aanpassing van het luidspreker-systeem aan de uitgangsimpedantie van de eindversterker is zeer belangrijk. Nu wordt deze aanpassing niet alleen bepaald door de impedantie-eigenschappen van de luidsprekers zelf, maar nog veel meer door de onderdelen die in het scheidingsfilter worden toegepast. Zeker voor het bereiken van maximaal energietransport tussen versterker en woofer is het van het grootste belang dat alle spoelen die in de woofer-tak van het filter worden gebruikt zo gering mogelijke gelijkstroom-weerstand hebben. Er lopen flinke stromen door de spoelen en deze moeten dus uit tamelijk dikke draad gewikkeld worden. Men kan spoelen toepassen, gewikkeld op ferrietkernen. Deze kenmerken zich door een zeer lage weerstand, maar kunnen niet lineaire

magnetische vervormingen introduceren, de zogenoemde hysteresisch-vervormingen. Deze kunnen het klankbeeld in niet geringe mate verstoren. Met spoelen gewikkeld rond een luchtkern wordt dit soort problemen vermeden. Maar deze hebben dan weer als nadeel dat hun gelijkstroom-weerstand bij gelijke dimensionering veel groter is. Men moet dus dikkere wikkel-draad toepassen wat ertoe kan leiden dat bij systemen die zeer grote vermogens moeten dissiperen spoelen worden gebruikt met draaddoorsneden van meer dan 10 mm! Dat deze spoelen groot, zwaar en duur zijn hoeft geen nader betoog.

Condensatoren

Naast zeer goede impuls-eigenschappen moet men ook rekening houden met de verlies-factor van de toegepaste condensatoren. De verlies-factor, voorgesteld door $tg\varphi$, bepaalt het vermogen dat wordt gedissipeerd in de niet oneindig hoge weerstand van het diëlectricum tussen de twee platen van de condensator. In feite kunnen wij dit verlies voorstellen door een parallel aan de condensator geschakelde weerstand, waar volgens de wet van Joule vermogen in verloren gaat.

Naast de twee genoemde eigenschappen speelt ook nog de constantheid van de condensator-waarde in functie van de tijd een belangrijke rol.

Elektrolytische condensatoren zijn in feite volkomen onbruikbaar voor het samenstellen van scheidings-filters, omdat deze onderdelen zeer grote verliezen hebben en de waarde bovendien erg verloopt in functie van de tijd. Bovendien hebben de grote verliezen een tamelijk grote warmte-ontwikkeling in het onderdeel tot gevolg, waardoor de eigenschappen na verloop van tijd steeds meer verslechteren.

Kunststof-folie condensatoren hebben de kleinste verliezen (bijvoorbeeld de MKS Styroflex condensatoren) maar deze onderdelen worden niet gefabriceerd in de hoge waarden die in scheidingsfilters aan de orde komen.

Metaal-papier condensatoren (MP) en dan voornamelijk de Polycarbonaat uitvoeringen (MKC) hebben de beste pulseigenschappen. Vaak gebruikt men voor het samenstellen van de noodzakelijke hoge capaciteitswaarden MP-condensatoren, parallel geschakeld aan MKC-types.

3/7.7

Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek

Geluid "tussen de oren"

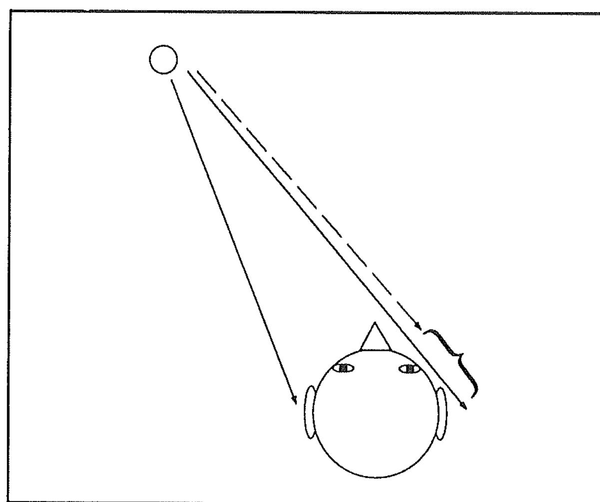
Wie wel eens met een hoofdtelefoon naar een stereo-opname heeft geluisterd, zal hebben vastgesteld dat het geluid vaak zeer onnatuurlijk klinkt. Het geluid schijnt in het hoofd van de luisteraar te ontstaan, terwijl het natuurlijk de bedoeling is dat er een effect ontstaat, waarbij het geluid vanuit de ruimte lijkt te komen. Gelukkig is de oorzaak van dit onaangename effect volledig bekend en kan de moderne elektronica er alles aan doen om het te verhelpen.

Richtingsgevoeligheid van het menselijk gehoor

Het menselijk gehoor heeft, waarschijnlijk door evolutie, een heel fijnzinnig systeem ontwikkeld om de richting van waaruit een bepaald geluid komt te traceren. Men heeft vastgesteld dat hierbij drie factoren een rol spelen:

- looptijd verschillen;
- amplitude verschillen;
- klank verschillen.

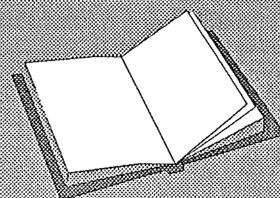
In figuur 3/7.7-1 is getekend wat er gebeurt als het geluid van een bepaalde puntbron onze oren bereikt. Uit de figuur valt duidelijk af te leiden dat er een verschil in afgelegde weg bestaat tussen de geluidsgolven die vanuit de puntbron vertrekken en het linker oor bereiken en de geluidsgolven die het rechter oor bereiken.



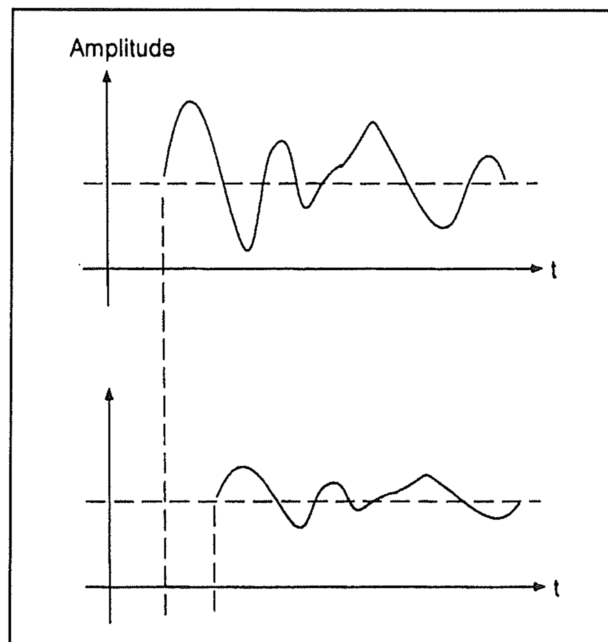
Figuur 3/7.7-1: Een van de factoren waardoor het gehoor een geluidsbron kan plaatsen is de looptijd vertraging.

Er ontstaat dus een looptijd verschil en deze parameter speelt een belangrijke rol bij de ruimtelijke beleving van een geluidsbron. Dit verschijnsel wordt het

LEES OOK:
Hoofdstuk 3/7.1
Hoofdstuk 4/2.15
Hoofdstuk 6/6.5



Haas-effect genoemd. Dit effect beweert dat grote looptijd verschillen tussen na elkaar volgende identieke geluidssignalen de verstaanbaarheid en plaatsbaarheid ten zeerste beïnvloeden. Dit verschijnsel is heel erg goed in de praktijk te merken bij grote geluidsinstallaties, waarbij het geluidssignaal via verschillende eindversterkers aan verschillende boxen wordt toegevoerd. Als deze boxen ver uit elkaar staan, bijvoorbeeld bij een open lucht concert of in een theater, dan zal de beperkte snelheid van het geluid er voor zorgen dat het geluid van de eerste box iets later de luisteraar bereikt dan het geluid van de tweede box. Er ontstaan dus looptijd verschillen. Als die looptijd verschillen groter zijn dan 50 ms, dan neemt de verstaanbaarheid van het geluid behoorlijk af. Dergelijke looptijd verschillen treden al op als twee luidsprekers 15 meter van elkaar verwijderd zijn!
Een tweede effect dat de richtinggevoeligheid van het menselijk gehoor bepaalt is het verschil in amplitude tussen de geluiden die links en recht opgevangen worden. Dit effect is het sterkst bij geluidsbronnen, die dicht bij de luisteraar staan opgesteld. Naarmate de afstand tussen luisteraar en geluidsbron toeneemt, wordt dit effect echter steeds kleiner en wordt het Haas-effect bepalender bij het lokaliseren van de geluidsbron.
Een derde effect dat een rol speelt zijn uiterst geringe veranderingen in de klank, die veroorzaakt worden door de specifieke constructie van de oorschelpen. Men heeft vastgesteld dat de vorm van de oorschelpen en van de gehoorgang een zeer verfijnd richtingsgevoelig filter vormt, dat de plaats van de geluidsbron heel nauwkeurig kan bepalen.
In figuur 3/7.7-2 zijn de drie effecten samengevat in twee grafiekjes, die aangeven hoe het linker en het rechter oor de geluidsgolven van één bron interpreteren en doorsturen naar de hersenen.

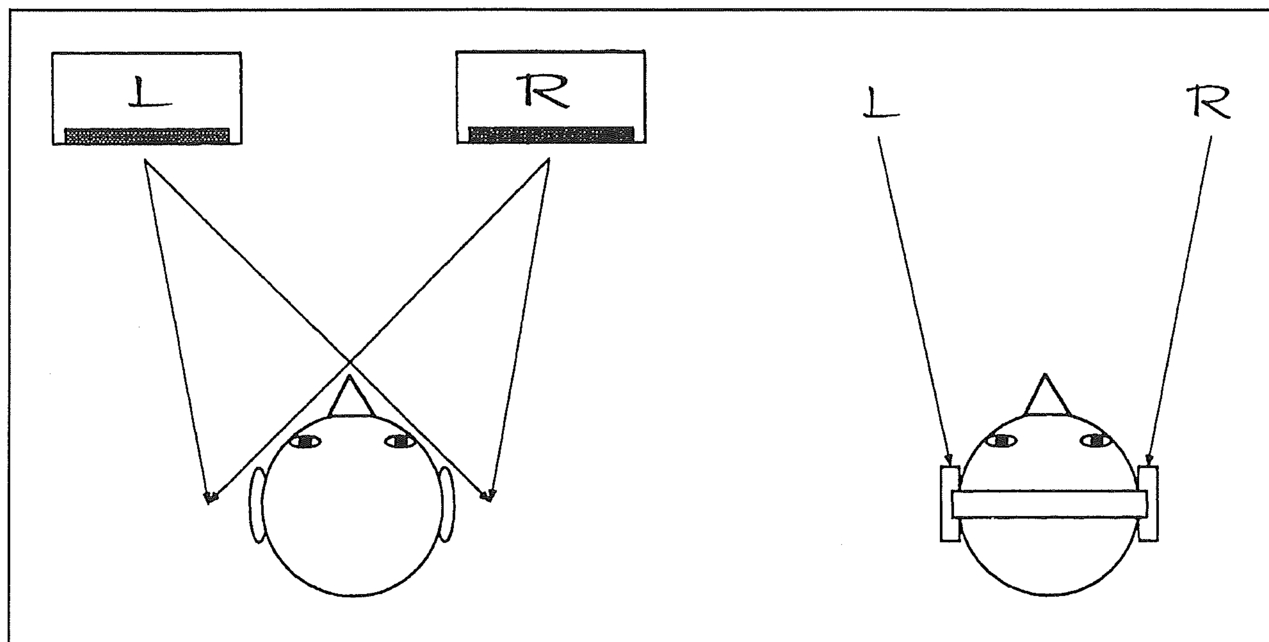


Figuur 3/7.7-2: Op deze manier wordt het geluid van een bepaalde puntbron door het linker en rechter oor doorgekoppeld naar de hersenen.

Problemen bij loodrecht invallende golven

De drie besproken parameters laten onze hersenen toe om heel nauwkeurig de richting en de afstand van een geluidsbron te bepalen. Er ontstaan echter problemen als twee identieke geluidsgolven loodrecht in onze oren invallen. Omdat dit een situatie is die onder natuurlijke omstandigheden nooit zal voorkomen, raken onze hersenen danig in de war. Het menselijk gehoor is dan niet in staat de plaats van de geluidsbron te traceren, met als gevolg dat de geluidsindruk als het ware midden in het hoofd wordt geplaatst.

7.7 Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek



Figuur 3/7.7-3: Het fundamenteel verschil tussen luisteren naar een stel luidsprekers en luisteren met een hoofdtelefoon.

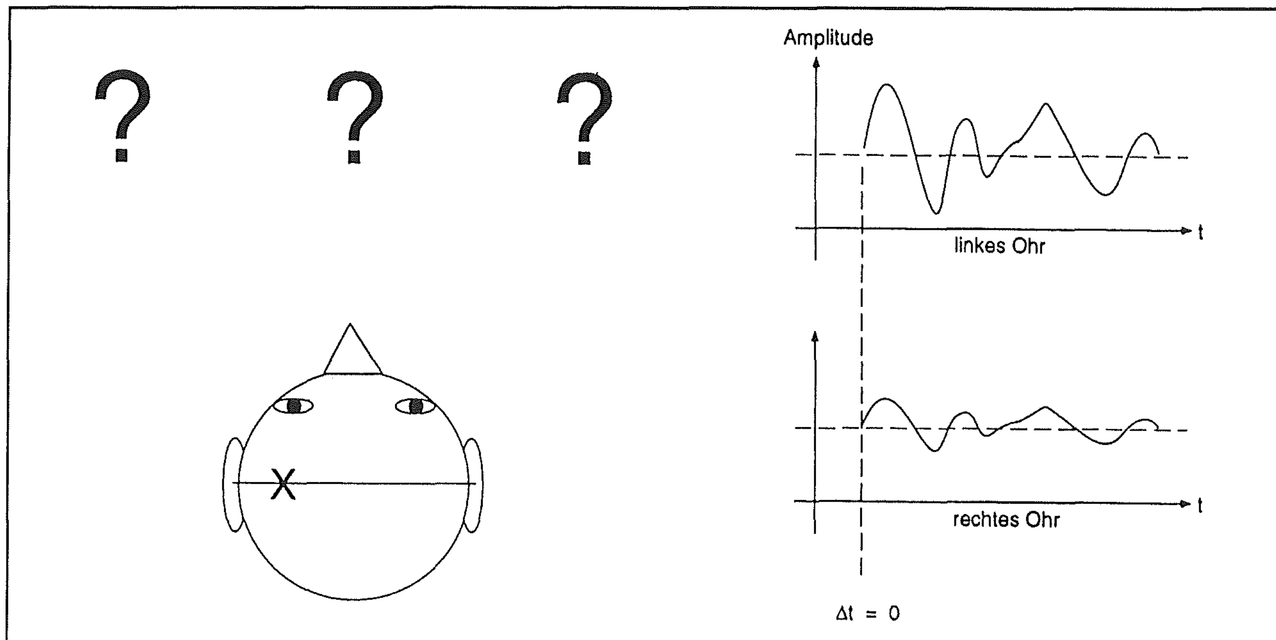
Uit experimenten is gebleken dat proefpersonen, die aan dergelijke geluidsgewaarwordingen worden bloot gesteld, hun hoofd onbewust en bijna onmerkbaar heen en weer gaan bewegen, om op deze manier aan de onnatuurlijke situatie te ontsnappen en alsnog een geluidsbron buiten het hoofd te kunnen lokaliseren.

Een hoofdtelefoon is geen stel luidsprekers!

Er bestaan nogal fundamentele verschillen tussen het luisteren naar geluid via een stel luidsprekers of via een hoofdtelefoon. Dat verschil wordt toegelicht aan de hand van figuur 3/7.7-3. Bij het luisteren naar luidsprekers zullen ***beide*** oren de geluidsgolven van ***beide*** luidsprekers opvangen. Luistert men echter met een hoofdtelefoon naar hetzelfde geluid, dan zal het linker oor alleen het geluid dat geproduceerd wordt door de linker telefoon registreren. Het rechter oor doet natuurlijk hetzelfde met het geluid dat door de rechter schelp wordt gemaakt. Weliswaar bestaat er een kleine overspraak tussen beide kanalen, bijvoorbeeld al vanwege het feit dat de geluidsgolven zich ook door de menselijke schedel voortplanten, maar de demping hiervan is zo groot, dat deze indirecte geluiden nauwelijks een rol spelen. Gelukkig maar, want de voortplantingssnelheid van geluid door vlees, bloed en botten is zo afwijkend van deze door de lucht dat de hersenen er helemaal van in de war zouden raken als deze trillingen echt bewust werden opgevangen!

Dit probleem ontstaat bij alle opnametechnieken, waarbij gebruik wordt gemaakt van diverse microfoons en diverse opname kanalen. Deze signalen worden immers nadien zuiver elektronisch met elkaar gemengd, waarbij de technicus in de meeste gevallen alleen op de niveauverschillen tussen de verschillende kanalen let en een zo goed mogelijke geluidsbalans tussen de verschillende instrumenten en/of stemmen nastreeft.

7.7 Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek



Figuur 3/7.7-4: Door niveau verschillen aan te brengen tussen het linker en rechter kanaal van een stereo-signaal, ontstaat er weliswaar een geringe mate van richtingsgevoeligheid, maar het geluid zit nog steeds "tussen de oren".

Het zal duidelijk zijn dat deze meestal toegepaste techniek van geluidsregistratie niets te maken heeft met de manier waarop de menselijke oren geluiden registreren!

Er ontstaan weliswaar looptijd verschillen tussen de verschillende signalen die door de verschillende microfoons worden opgenomen, maar deze looptijd verschillen hebben natuurlijk niets te maken met de looptijd verschillen die onze oren zouden waarnemen als zij het geluid "live" zouden opvangen. Wat er gebeurt als er een bepaald niveau verschil wordt gegenereerd tussen het linker en rechter kanaal van een stereo-signaal is weergegeven in figuur 3/7.7-4. Doordat het ene signaal met de helft verzwakt is, zullen de hersenen de bron van het geluid weliswaar niet midden in het hoofd lokaliseren, maar iets naar links verplaatst. Maar omdat er geen "menselijke" looptijd verschillen tussen beide signalen aanwezig zijn en ook de door de oren geïntroduceerde klank verschillen afwezig zijn, zijn de hersenen nog steeds niet in staat de bron van het geluid buiten het hoofd te lokaliseren.

Kunsthoofd techniek

Deze problemen ontstaan niet als bij de opname gebruik wordt gemaakt van een zogenoemd "kunsthoofd". Bij deze techniek wordt een kunsthoofd, waarbij op de plaats van de oren twee microfoons zitten, gebruikt om het geluid te registreren. Deze techniek is uitstekend in staat de optredende looptijd verschillen zo natuurgetrouw mogelijk te registreren. Bovendien worden ook de geringe luidsterkte verschillen opgenomen. Bovendien probeert men de klankkleur variaties ook te registreren door het kunsthoofd te voorzien van twee natuurgetrouw gemodelleerde oorschelpen.

De kunsthoofd techniek heeft echter twee grote nadelen:

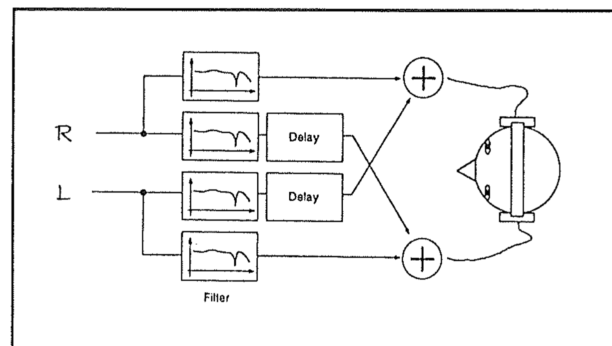
7.7 Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek

- deze techniek is alleen mogelijk bij zuiver acoustische geluiden, zoals een symfonie-orkest, maar is absoluut onbruikbaar voor het opnemen van elektronisch gegenereerde muziek;
- opnamen, die gemaakt zijn met een kunsthoofd, lenen zich niet per definitie voor goede weergave via luidsprekers.

Omdat de meeste opnamen tegenwoordig wel een of andere vorm van elektronische muziek bevatten en de meeste mensen nu eenmaal luisteren naar luidsprekers, wordt de kunsthoofd techniek niet vaak toegepast.

Elektronische oplossing
De meeste geluidsopnames zijn gemaakt met meerdere microfoons en bovendien wordt er vaak nog eens zuiver elektronisch gegenereerde muziek mee gemengd. Deze opnames zijn dus in feite ongeschikt om bevredigend per hoofdtelefoon beluisterd te worden. Toch is er een elektronische oplossing te verzinnen om het onnatuurlijke "tussen de oren" effect te vermijden. Bij luidspreker weergave worden voor de oren en de hersenen pseudo-natuurlijke effecten gegenereerd, namelijk looptijd verschillen en volume verschillen. Het is elektronisch mogelijk dergelijke effecten in een geluidssysteem in te bouwen, door het invoegen van zogenoemde "Cross Talk Units".

Principe van een Cross Talk Unit
In figuur 3/7.7-5 is het principe van een Cross Talk Unit geschetst. Het linker en rechter signaal worden door filters gevoerd. Na filtering worden beide signalen vertraagd. De vertraagde signalen worden kruiselings gemengd met de niet vertraagde signalen. De mengproducten worden aangeboden aan de linker en rechter schelpen van de hoofdtelefoon. Met een dergelijke schakeling is het mogelijk het "tussen de oren" effect grotendeels uit te schakelen. Experimenten met proefpersonen hebben uitgewezen dat deze, na enige uren luisteren middels een Cross Talk Unit, heel veel problemen hadden als zij nadien weer moesten luisteren naar normale weergave, dus zonder deze extra elektronica.

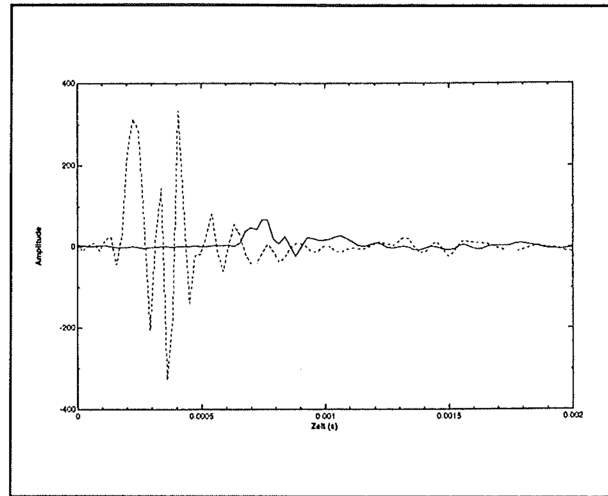


Figuur 3/7.7-5: Het blokschema van een "Cross Talk Unit".

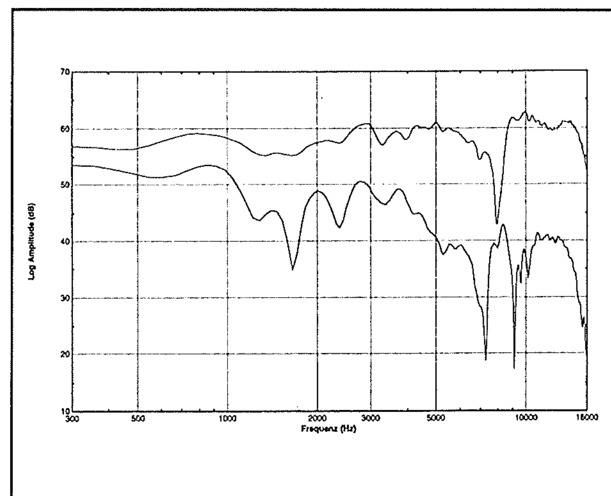
Binaurale filter karakteristieken
Het blokschema van een Cross Talk Unit is de eenvoud zelve. Het zal echter wel duidelijk zijn dat de goede werking van een dergelijke schakeling volledig afhankelijk is van de eigenschappen van de filters en de vertragingen. Om de parameters van deze blokken te bepalen moet men experimenteel onderzoek verrichten, waarmee de eigenschappen van het menselijk gehoor zo goed mogelijk in kaart worden gebracht en dan voornamelijk wat betreft looptijd en klank verschillen. Dat kan door experimenteel opstellen van zogenoemde "binaurale" filterdiagrammen. Bij verschillende proefpersonen werden ultraminiatuur microfoons in de gehoorgangen geplaatst, vlak voor de trommelvliezen. Deze personen werden

7.7 Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek

nadien bloot gesteld aan allerhande soorten geluiden en telkens werden uit de door de twee microfoons opgevangen geluiden fase en amplitude karakteristieken gemeten en berekend.
In figuur 3/7.7-6 is de opgemeten fase karakteristiek weergegeven, die ontstaat als een proefpersoon naar een impulsvormige puntbron moet luisteren, waarbij er een hoek van 60 graden bestaat tussen de bron en het hoofd. De karakteristiek met de gestippelde lijn geeft aan hoe het oor, dat in de richting van de geluidsbron staat, het geluid opvangt. De als ononderbroken lijn getekende karakteristiek geeft het ontvangen signaal weer van het andere oor. Duidelijk blijkt dat tussen beide signalen een looptijd vertraging van ongeveer 0,4 ms optreedt, maar dat bovendien beide signalen nogal van elkaar verschillen.
Interessant is ook de amplitude karakteristiek van figuur 3/7.7-7. De bovenste grafiek geeft de frequentieband weer van het geluid dat door het oor wordt opgevangen dat in de richting van de geluidsbron staat. De onderste grafiek geeft de frequentie karakteristiek van het afgewende oor weer. Duidelijk blijkt, dat voornamelijk de hoge frequenties verzwakt worden ontvangen in het oor dat van de geluidsbron is afgewend. Dit is een rechtstreeks gevolg van de vorm van de oorschelpen, maar ook van het feit dat het gezicht en met name de neus tussen de geluidsbron en dat oor zit.
Natuurlijk zijn de voorgestelde karakteristieken typisch voor één proefpersoon. Het blijkt echter dat er geen relevante verschillen zijn waar te nemen tussen verschillende proefpersonen en dat het goed mogelijk is gemiddelde looptijd en amplitude karakteristieken te berekenen, die gelden voor "het menselijke ras".



Figuur 3/7.7-6: De signalen die beide oren opvangen als er een pulsvormig geluid onder een hoek van 60 graden wordt uitgezonden.

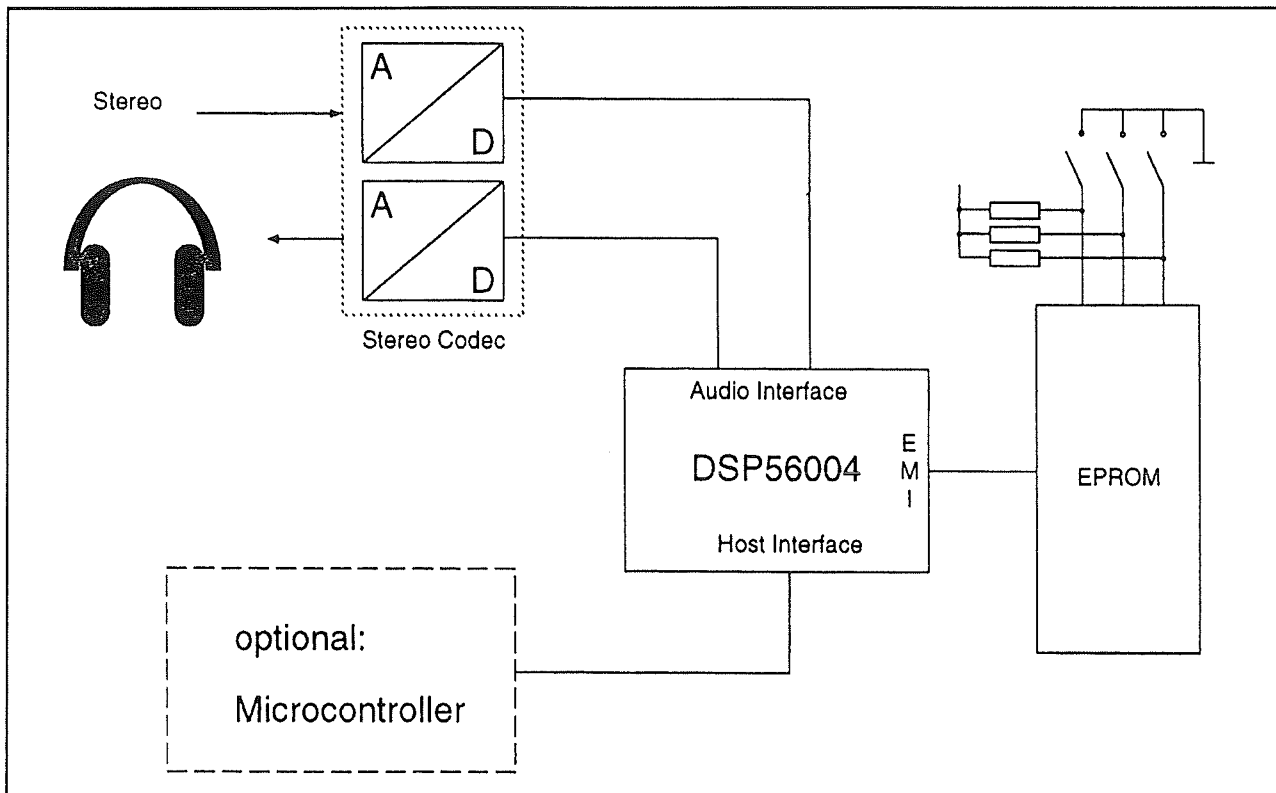


Figuur 3/7.7-7: De frequentie karakteristiek van het door beide oren opgevangen geluid.

Digitale signaal processoren

Het zal duidelijk zijn dat het niet zo eenvoudig is om de getekende grafieken om te zetten naar filter- en vertragingsschakelingen. Analoog is dit volstrekt onmogelijk, maar gelukkig snelt de digitale techniek ter hulp.

7.7 Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek



Figuur 3/7.7-8: Het blokschema van een proto-type van een in Duitsland ontwikkelde digitale Cross Talk Unit.

Er bestaan immers digitale signaal processoren, zogenoemde "DSP"'s, waarmee het in principe mogelijk is iedere gewenst verband tussen de ingangsspanning en de uitgangsspanning te realiseren. Aan de Universiteit van Bochum in Duitsland, waar de beschreven onderzoeken zijn verricht, is men er in geslaagd de beide karakteristieken te integreren in een digitale signaal processor van het type DSP56004 van Motorola.
Het blokschema van het ontwikkelde proto-type is getekend in figuur 3/7.7-8.
Het programma voor het besturen van de DSP en de filter en looptijd karakteristieken zijn opgeslagen in een EPROM met een data-bus met een breedte van acht bit. Wordt de schakeling ingebouwd in moderne audio-apparatuur, die bestuurd wordt vanuit een I^2C-bus, dan kan de besturing van de DSP overgenomen worden door de in het apparaat aanwezige microprocessor. De twee analoge ingangssignalen moeten natuurlijk omgezet worden in een digitale code.
De toegepaste ADC werkt met een woordbreedte van 16 bit, hetgeen het mogelijk maakt goedkope 16 bit brede audio-ADC's en -DAC's, bekend van CD-apparatuur, in het systeem toe te passen.

7.7 Grondbeginselen van de hoofdtelefoon techniek

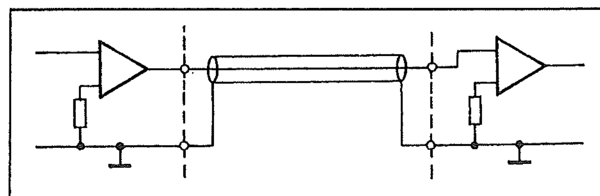
3/7.8

Het voorkomen van ruis en brom in audio-systemen

Inleiding

De grote vijanden!
Wie op een professionele manier met geluid omgaat, dus zeer gevoelige microfoons toepast die bovendien met lange kabels met een mengpaneel verbonden worden en vaak in storingsgevoelige omgevingen moet werken, weet dat brom en ruis de grote vijanden van storingsvrije audio-opname zijn.
Natuurlijk gebruikt de professionele geluidsman of -vrouw geen enkelvoudige afgeschermde verbindingen, zoals toegepast in huis- tuin- en keuken-apparatuur, en voorgesteld in figuur 3/7.8-1. Deze verbindingen zijn goed genoeg voor signalen van 0 dB (0,775 V) door te koppelen, maar absoluut onbruikbaar voor het transport van mV-signalen!

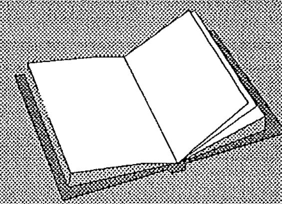
Symmetrische kabels
De professional werkt uitsluitend met symmetrische verbindingen, zoals voorgesteld in figuur 3/7.8-2. Daarbij gaan beide aansluitingen van bijvoorbeeld een microfoon via afgeschermde leidingen naar de ingang van het mengpaneel. Eerst daar wordt de symmetrische verbinding omgezet in een a-symmetrische, die gerefereerd is aan de massa. Het voordeel hiervan is dat de twee signaalvoerende kabels geïnverteerde signalen voeren en stoorsignalen die in de kabel doordringen in beide leidingen even grote spanningen induceren. Deze spanningen worden in de verschilversterker in het mengpaneel automatisch verwijderd uit het signaal.

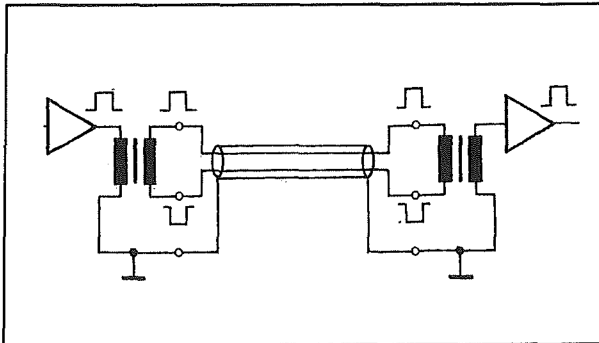


Figuur 3/7.8-1: Zo gaat het écht niet: a-symmetrische afgeschermde kabels zijn alleen bruikbaar in niet-kritische consumenten-apparatuur.

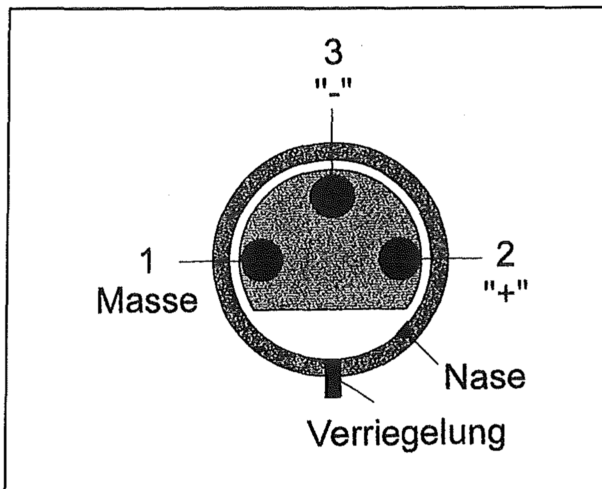
Voor dergelijke symmetrische verbindingen bestaan zelfs gestandaardiseerde connectoren: de zogenoemde driepolige XLR-connectoren, waarvan de aansluitgegevens in figuur 3/7.8-3 zijn voorgesteld.

LEES OOK:
Geen verwijzingen





Figuur 3/7.8-2: Het toepassen van symmetrische verbindingen.



Figuur 3/7.8-3: De gestandaardiseerde XLR-connectoren.

Toch nog stoorsignalen

Zelfs als alle kabels op de beschreven manier worden uitgevoerd zal het ontvangen signaal haast onvermijdelijk enige ruis of een ongewenst signaal uit de omgeving oppikken. Dit is met name het geval bij de zeer kleine analoge signalen die door microfoons worden geleverd.
Een en ander wordt er niet beter op omdat er tegenwoordig heel wat mengpanelen in de handel zijn die ook digitale schakelingen bevatten. Het gevolg is dat elke activiteit van deze digitale signalen, die over een bepaalde lengte dicht in de buurt van de analoge signalen lopen, een bron kan zijn van ruis in het versterkte signaal. Om de ruisinkoppeling van deze en andere van buiten komende bronnen te verminderen is het juist leggen en afschermen van de kabels van belang.

Soorten stoorsignalen

Inleiding

In het vervolg worden alle vormen van stoorsignalen simpelweg voorgesteld door het woordje "ruis". Niet ten onrechte, want ook 50 Hz of 100 Hz inductie, meestal brom genoemd, kan als een vorm van zeer laagfrequente ruis worden beschouwd.
Er zijn in principe zes ruis "oppik"- of inkoppelmechanismen:

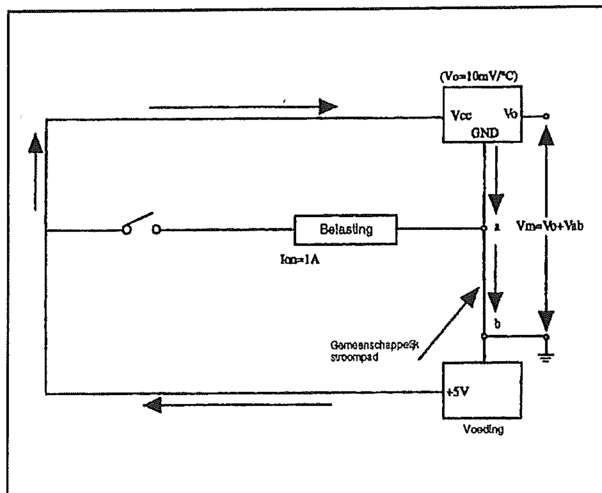
- conductief gekoppelde ruis;
- capacitief gekoppelde ruis;
- inductief gekoppelde ruis;
- instralingsgekoppelde ruis;
- het tribo-elektrische effect;
- thermokoppel ruis.

Conductieve gekoppelde ruis

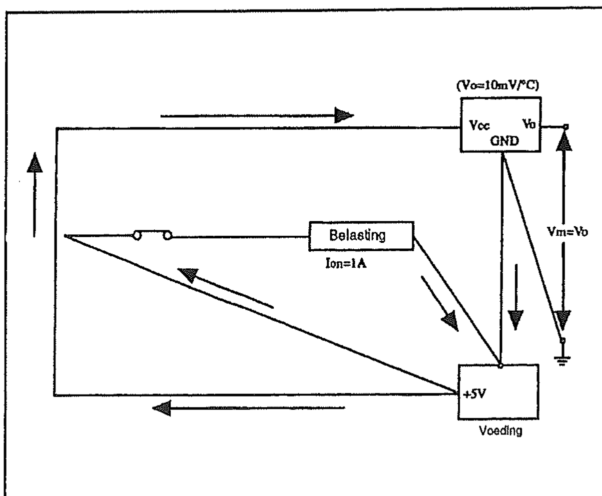
Conductieve koppeling ontstaat door gemeenschappelijke stromen van verschillende schakelingen die door een gemeenschappelijke impedantie lopen. Conductief gekoppelde ruis is dus het gevolg van het feit dat signaallijnen een eindige impedantie hebben. De gemeenschappelijke stromen wekken over deze impedanties ruisspanningen op. Bij het ontwerpen van een bedradingsschema moet rekening worden gehouden met het effect van deze bedradingsimpedanties. Conductieve koppeling kan worden onderdrukt of verminderd door het onderbreken van aardlussen (indien aanwezig) en te zorgen voor gescheiden retourlijnen naar

7.8 Het voorkomen van ruis en brom in audio-systemen

aarde voor zowel de hoog-niveau als laag-niveau signalen en de voedingslijnen.



Figuur 3/7.8-4: Een foutief aardverbindingsschema introduceert ruisspanningen.



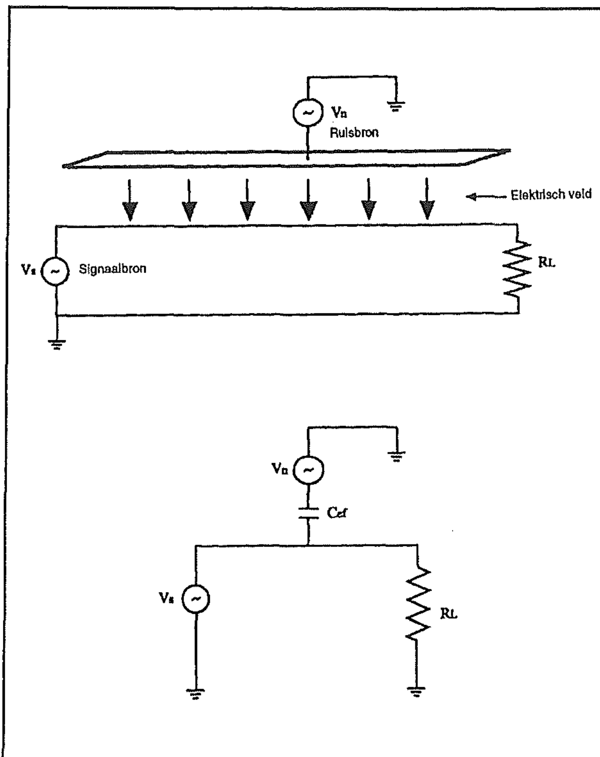
Figuur 3/7.8-5: Gescheiden aardverbindingen in een systeem zorgen voor aanmerkelijk minder ruis.

Een foutief aardverbindingsschema waarbij de lijnen in serie staan, hetgeen een conductieve koppeling oplevert, is afgebeeld in figuur 3/7.8-4. Wanneer de weerstand van de gemeenschappelijke retourlijn van a naar b gelijk is aan 0,1 Ω dan zal de ontvangen spanning een afwijking te zien geven van 0,1 Ω x de stroom.
De schakeling van figuur 3/7.8-5 heeft gescheiden verbindingen naar aarde zodat het uitgangssignaal niet varieert op het ritme van de stroom van de belasting.

Capacitieve gekoppelde ruis

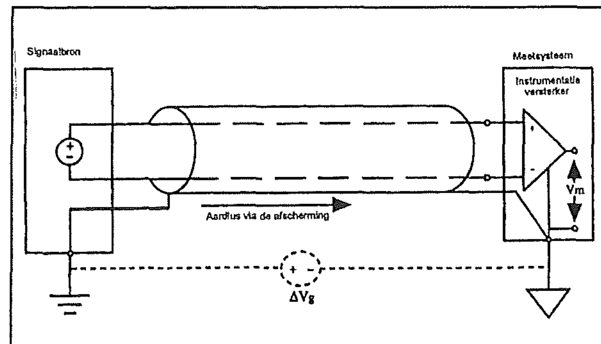
Capacitieve koppeling ontstaat door periodiek optredende elektrische velden in de buurt van de signaalweg. Voor een goed begrip van deze koppelingskanalen kunnen ladingen worden gebruikt die inwerken op het circuit. In figuur 3/7.8-6 is getekend wat er in feite gebeurt. Tussen de ruisbron en de kabel ontstaat een condensator C_{ef} die verantwoordelijk is voor het inkoppelen van ruis.
De equivalente capaciteit C_{ef} is rechtstreeks evenredig aan het overlappingsgebied en omgekeerd evenredig aan de afstand tussen de beide circuits. Door de scheiding te vergroten of de overlap te verminderen zal C_{ef} afnemen en dus ook de capacitieve koppeling van het ruiscircuit naar het signaalcircuit.
Andere eigenschappen van capacitieve koppeling kunnen eveneens uit het model worden afgeleid. Zo is bijvoorbeeld de mate van capacitieve koppeling rechtstreeks evenredig aan de frequentie en amplitude van de ruisbron en aan de impedantie van het ontvangstcircuit. Dientengevolge kan de capacitieve koppeling worden verminderd door de spanning of frequentie van de ruisbron te verminderen of door de impedantie van het signaalcircuit te verlagen. De equivalente capaciteit C_{ef} kan ook worden verminderd door een capacitieve afscherming toe te passen. Bij een capacitieve afscherming is sprake van omleiding van of een andere weg voor de geïnduceerde stroom, zodat deze niet wordt meegevoerd in de signaalweg. Voor

een goede capacitieve afscherming dient rekening te worden gehouden met zowel de plaats van de afscherming als met de verbinding van de afscherming.

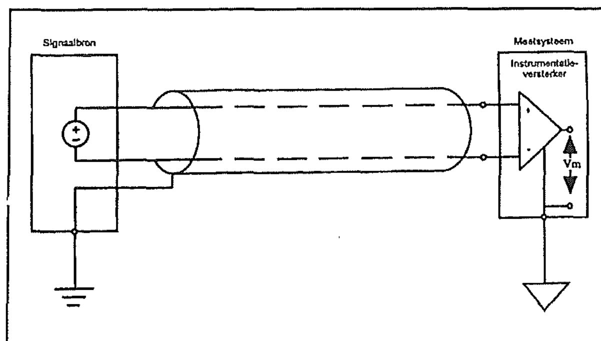


Figuur 3/7.8-6: De verklaring van capacitief gekoppelde ruis.

De afscherming moet worden aangebracht tussen de capacitief gekoppelde geleiders en mag alleen bij de bron met de aarde worden verbonden. Er zullen namelijk aardstromen gaan lopen wanneer de afscherming aan beide uiteinden wordt geaard, zie figuur 3/7.8-7. Zo kan bijvoorbeeld een potentiaalverschil van 1 V tussen de beide aardes een aardstroom van 2 A door de afscherming tot gevolg hebben wanneer deze een weerstand heeft van 0,5 Ω! Tussen de beide aardes kunnen potentiaalverschillen van rond de 1 V bestaan.
Hoe het wél moet is getekend in figuur 3/7.8-8. Hier ligt de afscherming van de kabel maar aan één kant aan de aarde, waardoor geen aardlussen kunnen ontstaan en bijgevolg ook geen aardstromen.



Figuur 3/7.8-7: Verkeerde aarding leidt tot aardlussen en -stromen.



Figuur 3/7.8-8: Hoe het wél moet: de afscherming van de kabel ligt aan één kant aan de aarde.

Inductief gekoppelde ruis

Inductieve of magnetisch gekoppelde ruis ontstaat door periodiek optredende magnetische velden in het gebied dat wordt omsloten door het signaalcircuit. Deze magnetische velden worden opgewekt door stromen in nabijgelegen ruiscircuits. De geïnduceerde spanning V_n in het signaalcircuit volgt uit de onderstaande formule:

$$V_n = 2 * \pi * f * B * A * \cos \varphi$$

Hierin is:
- f de frequentie van de sinusvormig variërende fluxdichtheid;

- B de effectieve waarde van de fluxdichtheid;
- A het gebied waarin de signaalcircuitlus zich bevindt;
- φ de hoek tussen de fluxdichtheid B en het gebied A.

De inductieve instraling wordt bij de equivalente schakeling van de inductieve koppeling aangegeven als de wederzijdse inductie M, zie figuur 3/7.8-9. In termen van de wederzijdse inductie M volgt V_n uit de formule:

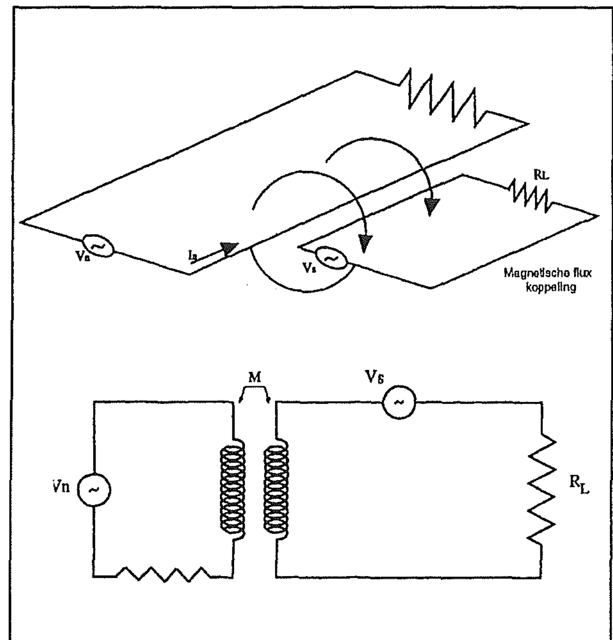
$$V_n = 2 * \pi * f * M * I_n$$

Hierbij is I_n de effectieve waarde van de sinusvormige stroom in het ruiscircuit en is f de frequentie ervan.

Omdat M recht evenredig is aan het gebied van de circuitlus van de ontvanger en omgekeerd evenredig is aan de afstand tussen het ruisbroncircuit en het signaalcircuit, zal een vergroting van de scheiding of een vermindering van het signaallusgebied de inductieve koppeling tussen de beide circuits verminderen. Het reduceren van de stroom I_n in het ruiscircuit of het verlagen van diens frequentie kan eveneens de inductieve koppeling verminderen.

De fluxdichtheid B van het ruiscircuit kan ook worden verminderd door de draden van de ruisbron in elkaar te draaien. Tenslotte kan een magnetische afscherming worden aangebracht om de ruisbron of om het signaalcircuit om de koppeling te verkleinen.

Een afscherming tegen laagfrequente magnetische velden is minder eenvoudig dan een afscherming tegen elektrische velden. De effectiviteit van een magnetische afscherming is afhankelijk van het soort materiaal, de permeabiliteit, de dikte en de betreffende frequenties. Dankzij de hoge relatieve permeabiliteit is staal veel effectiever dan aluminium en koper als afscherming tegen laagfrequente (ruwweg beneden 100 kHz) magnetische velden. Bij hogere frequenties kunnen aluminium en koper net zo goed dienst doen.



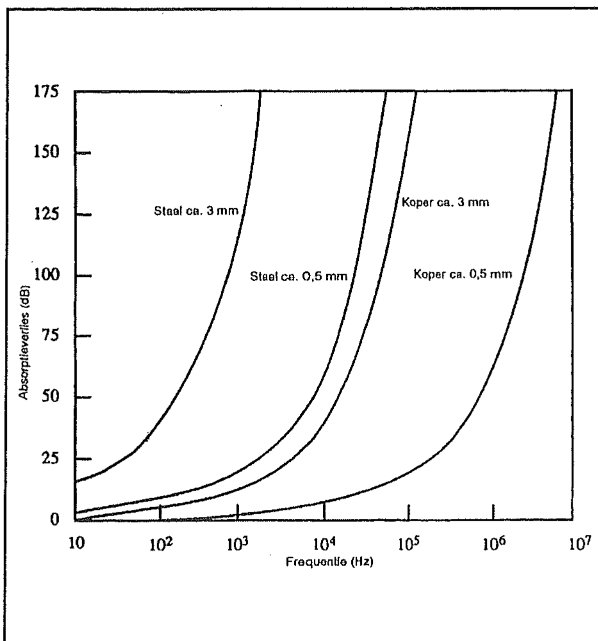
Figuur 3/7.8-9: Inductieve koppeling voorgesteld door een equivalent schema.

De absorptieverliezen van koper en staal voor twee dikten is weergegeven in figuur 3/7.8-10.

De magnetische afschermingseigenschappen van deze metalen zijn veelal ontoereikend bij lage frequenties zoals die van het lichtnet (50 Hz tot 100 Hz). Dit zijn echter wel de meest voorkomende laagfrequente, magnetisch gekoppelde ruisbronnen in de meeste omgevingen. Als afscherming tegen laagfrequente magnetische velden zou μ-metaal beter geschikt zijn, echter μ-metaal is heel kwetsbaar, met name qua permeabiliteit en dit kan bij mechanische schokken de effectiviteit ervan als magnetische afscherming zeer nadelig beïnvloeden. Stroom

7.8 Het voorkomen van ruis en brom in audio-systemen

leverende signaalbronnen zijn ongevoeliger voor dit soort ruis dan spanning leverende signaalbronnen omdat de magnetisch geïnduceerde spanning in serie met de bron optreedt.



Figuur 3/7.8-10: Absorptieverliezen in functie van de frequentie van vaak gebruikte afschermingsmetalen.

Instralingsgekoppelde ruis

Wanneer de bron van het elektromagnetische veld zich ver van het signaalcircuit bevindt, wordt de koppeling van het elektrische en magnetische veld beschouwd als een gecombineerde elektromagnetische of instralingskoppeling. Instraling, afkomstig van stralingsbronnen zoals de zendstations en communicatiekanalen van radio en TV, wordt doorgaans niet beschouwd als een interferentiebron voor laagfrequente audio-apparatuur. De frequenties liggen immers ver boven het hoorbare gebied! Maar vergeet niet dat hoogfrequente ruis kan worden gelijkgericht en geïntroduceerd in laagfrequente circuits via een proces dat "audio gelijkrichting" wordt genoemd. Dit proces vindt plaats in de niet-lineaire overgangen van IC's die werken als gelijkrichters. Eenvoudige passieve RC-laagdoorlaat filters aan het ontvangende uiteinde van lange kabels kan de audio gelijkrichting verminderen.

De tegenwoordig alom tegenwoordige computer + monitor is een bron van elektrische en magnetische veldinterferentie in nabijgelegen gevoelige circuits. Ook in opname-studio's zal men tegenwoordig diverse computers en monitoren aantreffen. Hetzelfde geldt voor de technische ruimten in theaters en schouwburgen. Vandaar dat ten stelligste wordt aangeraden alle ingangen te ontkoppelen via het beschreven passief laagdoorlaat filtertje. Eén kleine condensator en één weerstandje kunnen heel wat ellende besparen!

Ruis via het tribo-elektrisch effect

Is een verbindingskabel onderhevig aan trillingen dan moet rekening worden gehouden met het zogenoemde "tribo-elektrische effect", oftewel wrijvingselektriciteit. Het tribo-elektrische effect wordt veroorzaakt door de lading die wordt opgewekt in het diëlektricum van de kabel wanneer deze geen contact houdt met de geleiders van de kabel. Een verandering van de magnetische flux kan het gevolg zijn van een wijziging van het gebied waarin de signaalcircuit lus zich bevindt, veroorzaakt door trillingen van één of beide geleiders. Ook dit kan inductieve koppeling opleveren. De oplossing hiervoor is om bengelende draden te voorkomen en de bekabeling vast te zetten.

Thermokoppel ruis

Bij schakelingen die zeer lage spanningen afgeven, zoals microfoons, moet ook reke-

ning worden gehouden met een niet zo voor de hand liggende bron van ruis, de thermokoppels die ongewild ontstaan over de overgangen van verschillend metalen. Ruis ten gevolge van thermokoppel effecten behoort weliswaar niet tot de meest voor de hand liggende storingsbron, maar dient wel te worden genoemd omdat ze soms de oorzaak kan zijn van mysterieuze ruissignalen, waar men de oorzaak maar niet kan ontdekken.

Eisen aan gebalanceerde systemen

Inleiding

Aan de gebalanceerde verbinding tussen een signaalbron en -ontvanger moeten de onderstaande eisen worden gesteld:

- De bron is gebalanceerd:
  Beide aansluitklemmen van de bron, dus "signaal hoog" (+) en "signaal laag" (-) hebben dezelfde impedantie ten opzichte van aarde.
- De kabel is gebalanceerd:
  De beide geleiders hebben dezelfde impedantie ten opzichte van aarde.
- De ontvanger is gebalanceerd:
  De beide aansluitklemmen van het mengpaneel hebben dezelfde impedantie ten opzichte van aarde.

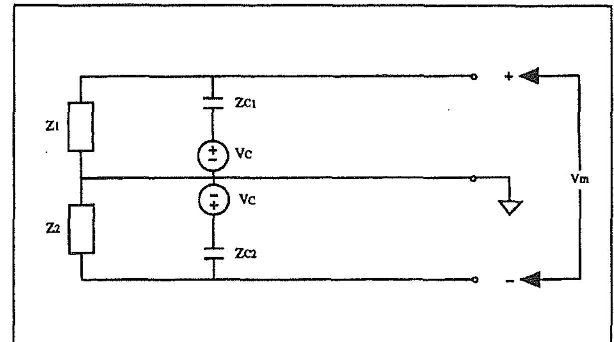
Voordelen

Het oppikken van capacitieve lading blijft in een volledig gebalanceerd systeem tot het minimum beperkt omdat de geïnduceerde ruisspanning op beide geleiders hetzelfde is ten gevolge van de gelijke impedanties ervan ten opzichte van aarde en ten opzichte van de ruisbron. Zou het voorbeeld van figuur 3/7.8-11 een ideaal gebalanceerd systeem weergeven, dan zouden hierbij de volgende condities van toepassing zijn:

$Z_1 = Z_2$

en

$Z_{C1} = Z_{C2}$



Figuur 3/7.8-11: Voorbeeld van een volledig gebalanceerd systeem.

Een eenvoudige circuitanalyse toont aan dat voor het gebalanceerde systeem, waarbij V+ = V-, de capacitief gekoppelde spanning V_c verschijnt als een common-mode signaal. Voor een ongebalanceerd systeem, waarbij Z_1 ongelijk is aan Z_2 of Z_{C1} ongelijk is aan Z_{C2}, verschijnt de capacitief gekoppelde spanning V_c als een verschilspanning. Dat wil zeggen dat V+ ongelijk is aan V-, hetgeen niet kan worden onderdrukt door een verschilversterker. Hoe groter de onbalans van het systeem of de misaanpassing van de impedanties ten opzichte van aarde en de capacitief gekoppelde ruisbron, hoe groter de differentiable component van de capacitief gekoppelde ruis zal zijn.

Welke kabels?

In elkaar gedraaide aderparen (twisted pairs) of afgeschermde in elkaar gedraaide aderparen zijn voorbeelden van volledig gebalanceerde kabels. Coaxiale kabels daarentegen zijn niet gebalanceerd omdat de beide geleiders een verschillende

capaciteit ten opzichte van aarde hebben. Voor de analoge ingangssignalen die in professionele audio-systemen optreden leveren afgeschermde, in elkaar gedraaide aderparen voor elk analoog ingangssignaal de beste resultaten op, ervan uitgaande dat er een differentiële ingangsconfiguratie (verschilversterker) wordt toegepast in het mengpaneel. Verbindt de afscherming van elk signaalpaar bij de bron met de referentie-aarde. Denk er aan dat de bruikbare frequentie voor dit type kabel in het algemeen tot 100 kHz loopt. De kabelcapaciteit mag niet worden verwaarloosd bij microfoons met een hoge impedantie.

Tips voor het bekabelen van een installatie

Wie zich aan onderstaande tips houdt zal weinig last hebben van brom en ruis in de apparatuur!

- Zorg, indien mogelijk, voor een gescheiden retourlijn voor elk signaal en maak in elkaar gedraaide aderparen van de signaallijn en de signaalretourlijn.
- De analoge signaallijnen en retourlijnen moeten gescheiden van elke digitale besturings- en/of statuslijn worden gelegd.
- Aparte kabels voor digitale en analoge signalen zijn absoluut noodzakelijk. Vermijd dus die kabels die tegenwoordig in de handel zijn en waarin afgeschermde signaaladers worden gecombineerd met onafgeschermde besturingsaders!
- Wanneer een bandkabel wordt toegepast die beide soorten signalen voert, dan kan deze het best worden opgesplitst in een analoge en digitale helft.
- Zorg ervoor dat de aardretourlijnen naar de voeding van ruisgevoelige vermogencircuits zoals lichtdimmers en theaterspot's absoluut zijn gescheiden van de laag-niveau signaalretourlijnen naar aarde.
- Signaalkabels mogen niet dicht in de buurt van wisselspanningskabels of andere vermogenskabels worden gelegd.
- Scherm de signaallijnen af van elektrische en magnetische velden die worden veroorzaakt door elektromotoren, lasapparatuur, magneetschakelaars of transformatoren. Dit kan worden gerealiseerd door de signaallijnen door speciale metalen buizen te laten lopen.
- Een gemeenschappelijke afscherming voor zowel analoge als digitale signalen moet in een ongebalanceerd systeem, zoals bijvoorbeeld de enkelvoudige ingangsconfiguratie, worden vermeden omdat de capacitief gekoppelde ruis niet de vorm heeft van een common-mode spanning. De ruisstroom die door de afscherming loopt, pakt voor een single-ended ingangssysteem ook nog eens nadeliger uit ten gevolge van het grotere lusbereik in het signaalcircuit. Een gemeenschappelijke afscherming kan met succes worden toegepast in gebalanceerde systemen omdat de capacitief gekoppelde ruis verschijnt als een common-mode signaal. Daarnaast is het ook zo dat de bekabeling van gebalanceerde systemen minder gevoelig is voor inductieve koppeling (aangenomen dat de + en - draden van het kanaal naast elkaar lopen) en dus ook minder gevoelig is voor ruisstromen die door de afscherming lopen. Zoals eerder opgemerkt, moet de afscherming slechts aan één zijde met de aarde worden verbonden. Wordt de afscherming geheel zwevend aangebracht (zonder dat deze ergens contact maakt met de aarde) dan functioneert

7.8 Het voorkomen van ruis en brom in audio-systemen

de afgeschermde kabel niet als dusdanig en werkt zelfs nog slechter dan een niet afgescherde kabel!

7.8 Het voorkomen van ruis en brom in audio-systemen

3/7.9

Moderne car-audio technologie

Inleiding

Surround sound en daverende beat in de auto

Het tijdperk waarin autoradio's relatief eenvoudige apparaten waren, is definitief verleden tijd. Surround sound en daverende beat in de auto is in, maar de techniek om goede surround sound in het vreemd gevormde interieur van een auto op te wekken is toch iets moeilijker dan deze die u toegepast in een rechthoekige woonkamer. Bovendien heeft u te maken met de beperkte voedingsspanning van de accu van maar 13,5 V, in plaats van de 230 V van het net. Een daverende beat-bas trekt dus uit deze lage voedingsspanning al snel piekstromen tot 30 A!

Dankzij de moderne technologie en wat geknutsel hoeft dat tóch geen probleem te zijn.

Van autoradio naar headunit

Moderne autoradio's worden "headunit's" genoemd, een bewijs dat u meer kan met zo'n apparaat dan alleen maar in stereo naar FM-zenders luisteren. Moderne headunit's, zoals voorgesteld in figuur 3/7.9-1, worden gekarakteriseerd door de volgende eigenschappen:

- geautomatiseerde bediening;
- afstandsbediening vanaf het stuur;
- geïntegreerde diefstalpreventie;
- uitgerust met uitgebreide DSP, digitale signaal processing;
- afspelen van Audio-CD's, MP3's en Surround Sound CD's;
- minstens vier line-uitgangen voor uitbreiding van de installatie;
- minstens 4 x 25 W effectief uitgangsvermogen;
- aansluitmogelijkheid voor een carkit voor uw mobiele telefoon.

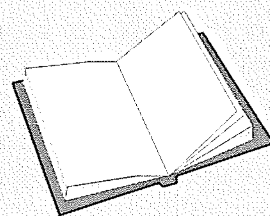
DSP

DSP is het letterwoord voor "Digital Sound Processor". Zo'n processor zet de primaire analoge signalen om in digitale signalen waarop u nadien vervormingsvrij allerlei bewerkingen kunt uitvoeren. De vier voornaamste functies van de DSP zijn:

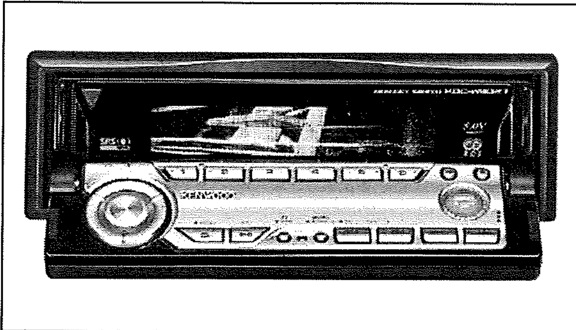
- cross-over filtering;

LEES OOK:

Hoofdstuk 3/7.2
Hoofdstuk 3/7.4
Hoofdstuk 3/7.5



- equaliser filtering;
- time-alignment;
- preset instellingen.



Figuur 3/7.9-1: Een moderne autoradio of headunit, zoals dit apparaat van Kenwood, is een échte audioprocessor geworden.

Cross-over filtering
Het totale audiobereik van 20 Hz tot 20 kHz kunt u hiermee opsplitsen in twee, drie of vier banden. U kunt dus een actief systeem maken door meerdere versterkers aan te sturen die ieder één gespecialiseerde luidspreker van vermogen voorzien. U kent de benamingen wel:
- subwoofers voor de heel lage frequenties;
- woofers voor de lage frequenties;
- midrangers voor het middengebied;
- tweeters voor de hoge frequenties.

Bij goede digitale cross-over's kunt u de scheidingsfrequentie, de versterking en de flanksteilheid van de filters instellen.

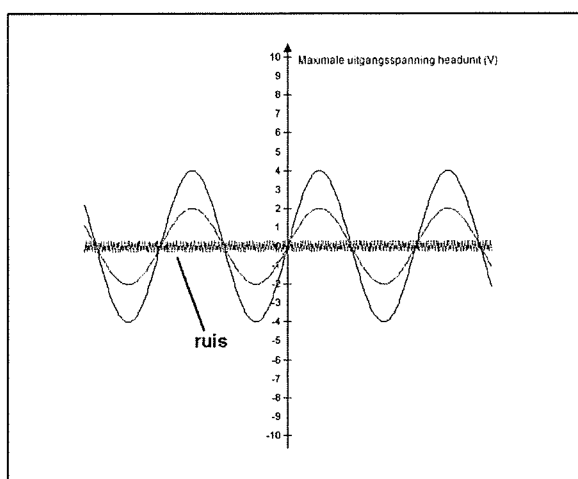
Equaliser filtering
Om een rechte frequentiekarakteristiek in de auto te krijgen is een equaliser geen overbodige luxe. Ongunstige plaatsing van de speakers en de slechte acoustische eigenschappen van het interieur zorgen voor demping en reflecties van bepaalde frequenties. Met een equaliser kunt u dit corrigeren. Er bestaan grafische en parametrische equalisers. Met een grafische equaliser kunt u een aantal vaste frequentiebanden verzwakken of versterken. Met een parametrische equaliser kunt u dit ook, maar bovendien kunt u de breedte van de frequentiebanden instellen, dus verbreden of versmallen.

Time-alignment
Omdat in een auto de subwoofer, de woofers, de midrangers en de tweeters soms op acoustisch zeer onlogische plaatsen worden opgesteld, ontstaan looptijdverschillen. Het geluid lijkt dan te springen tussen woofer en tweeter, terwijl het eigenlijk vanuit één bron zou moeten komen om een goed stereobeeld te geven. Ook kan het gebeuren dat het sublaag achterin blijft "hangen" of "te laat" klinkt. Met de time-alignment functie van de DSP kunt u per speaker de looptijd van het signaal instellen, soms op de centimeter nauwkeurig.

Preset instellingen
Omdat het instellen van een DSP een zeer tijdrovende zaak is, hebben de fabrikanten een aantal preset's gedefinieerd met mooie namen zoals "rock", "pop" "jazz", "classic" of genoemd naar een ruimte zoals "hall", "stadium", "club". Meestal geven deze preset's echter niet het gewenste resultaat.

Line-uitgangen
Om van een autoradio een écht surround sound systeem te maken moet de headunit zijn voorzien van minstens vier line-uitgangen, waarop u externe versterkers en eventueel filters kunt aansluiten. Hoewel audio line-uitgangen meestal een spanning van 0,75 V afgeven, treft

u in headunit's steeds vaker zogenaamde "high-output" uitgangen aan. De maximale uitgangsspanning van zo'n high-output line-out is 4 V. Het voordeel van deze hoge lijnspanning is een verbetering van de signaal/ruis-verhouding. In figuur 3/7.9-2 ziet u hoe dat werkt.



Figuur 3/7.9-2: Hoe hoger de uitgangsspanning van de line-uitgangen, hoe minder last u heeft van de per definitie in ieder elektronisch systeem aanwezige ruis.

Subwoofer line-uitgang

Voor échte surround sound effecten moet u een headunit aanschaffen die, naast de vier line-uitgangen, ook nog eens een subwoofer uitgang heeft. Dit is een mono-uitgang die intern wordt gefilterd, zodat alleen de allerlaagste frequenties worden doorgekoppeld. Meestal kunt u, alweer dank zij de DSP, de scheidingsfrequentie en de versterking zeer nauwkeurig instellen.

Uitgangsvermogen

De meeste headunit's hebben een ingebouwde vierkanaals versterker met een vermogen per kanaal van 35 W tot 60 W. Er zijn echter zoveel definities van "vermogen" in omloop, dat deze getallen erg weinig zeggen. De enige échte vermogensspecificatie is deze van het zogenaamde effectieve vermogen P_{eff} of P_{rms}. Dit is de natuurkundige invulling van het begrip "elektrisch vermogen" en in feite zou iemand alle fabrikanten van eindversterkers moeten verplichten alleen het effectieve vermogen bij een bepaalde vervorming en bij een bepaalde belasting te specificeren.
Als u in de technische specificaties van de headunit niets leest over brugversterkers, kunt u er van uitgaan dat het maximale vermogen per kanaal in luidsprekers van 4 Ω slechts 4,5 W_{rms} per kanaal kan bedragen. Immers, een autoradio wordt gevoed uit de 13,5 V accuspanning en uit die 13,5 V kan per definitie niet meer vermogen in 4 Ω worden gegenereerd dan 4,5 W_{rms}!
Staat er wél iets over brugversterkers in de documentatie, dan betekent dit dat het maximale vermogen in principe vier maal hoger kan zijn, dus 4 x 4,5 W_{rms} = 18 W_{rms}.

Extra versterkers

Inleiding

Een normale autoradio levert dus bij een aanvaardbare vervorming van 1 % maximaal 4 x 18 W_{rms} aan 4 Ω luidsprekers. Dat lijkt heel wat, maar een auto in niet te vergelijken met een normale woonkamer. Er is immers behoorlijk veel achtergrondgeluid van de motor, de wind en de banden. Voor een goed geluid heeft u écht wel wat meer vermogen nodig dan die 4 x 18 W_{rms}. Vandaar dat er losse eindversterkers op de markt zijn, die gevoed worden uit de accuspanning,

aangesloten worden op de line-uitgangen van uw headunit en door het toepassen van speciale spanningsverdubbelende technieken meer vermogen uit die 13,5 V van uw accu halen.

Warmteverdeling

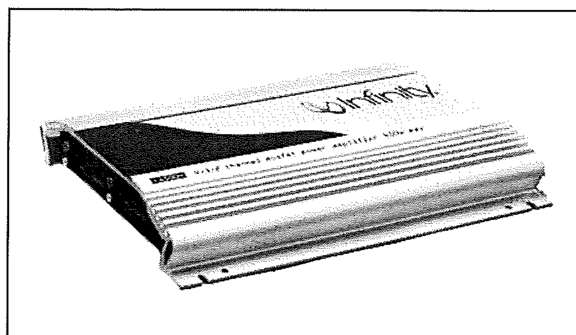
Een tweede groot voordeel van het gebruik van een extra versterker is dat de warmte beter wordt verdeeld. Een headunit heeft, per definitie, een beperkt volume. Hij moet immers in het dashboard van uw auto passen. Belast u de vier versterkers maximaal, dan wordt er heel wat warmte ontwikkeld in de behuizing. Dat komt de levensduur van de elektronica niet ten goede. Elektronische onderdelen die warm worden zetten immers uit en krimpen nadien weer als de radio wordt uitgeschakeld. Dat continu uitzetten en krimpen veroorzaakt mechanische spanningen, die tot gevolg kunnen hebben dat de componenten defect geraken. Als u de headunit met slechts twee luidsprekers belast en de overige kanalen overlaat aan een externe versterker zal uw autoradio aanzienlijk koeler blijven en een langer leven hebben.

Voorbeeld

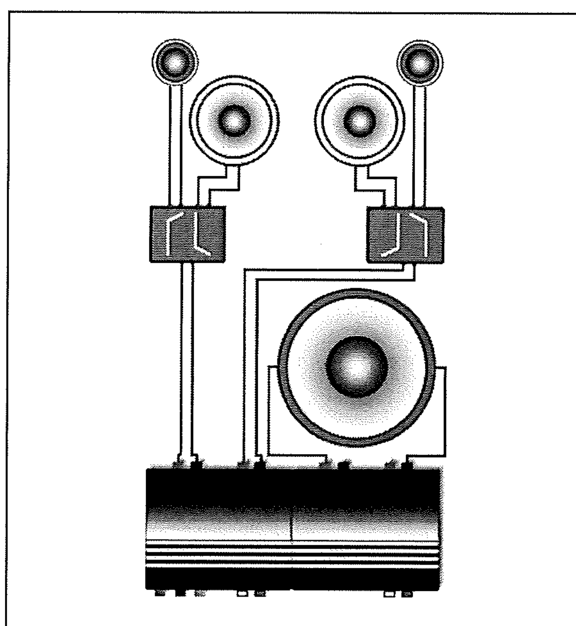
De meeste externe versterkers hebben vier kanalen die 50 W_{rms} leveren aan luidsprekers van 4 Ω. Een voorbeeld van zo'n externe versterker is de in figuur 3/7.9-3 voorgestelde RA5004 van Infinity. De vier versterkers kunnen in brug worden geschakeld, waardoor het vermogen stijgt tot 300 W_{rms} aan 4 Ω. De prijs van deze versterker bedraagt € 240,00.

Een eenvoudig systeem

Met één externe versterker en uw headunit kunt u volgens figuur 3/7.9-4 een eenvoudig surround systeem samenstellen. Uw headunit wordt gebruikt voor het voeden van de twee front speakers. De rear speakers en de subwoofer worden gevoed uit de extra versterker. Omdat een subwoofer veel vermogen nodig heeft, worden twee van de versterkers in brug geschakeld en voeden deze luidspreker.

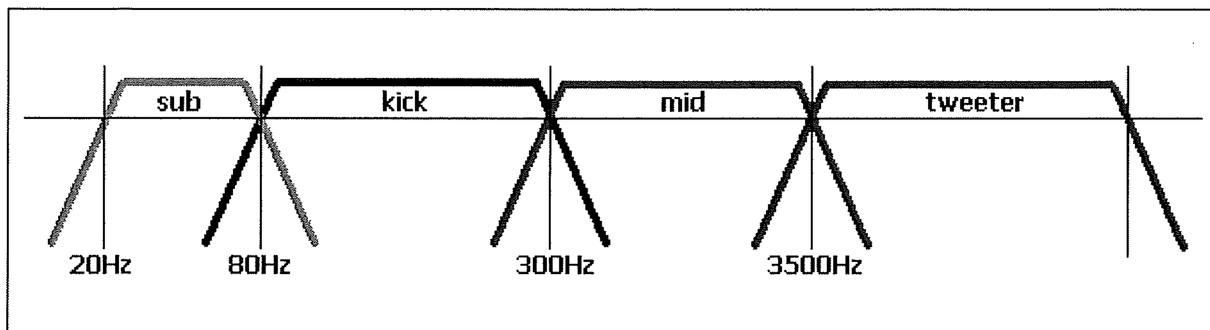


Figuur 3/7.9-3: Een voorbeeld van een vierkanaals externe versterker die 4 x 50 W_{rms} kan leveren aan luidsprekers van 4 Ω.



Figuur 3/7.9-4: Een extra versterker voedt de twee achterste luidsprekers en de subwoofer.

7.9 Moderne car-audio technologie



Figuur 3/7.9-5: De standaard frequentiebanden voor de vier soorten luidsprekers.

Afregeling van de versterker

Op een goede versterker zit een aantal instelpunten, zoals voor de versterking en de highpass en lowpass filters. Met de versterkingafregeling past u de ingangsgevoeligheid van de versterker aan het uitgangsniveau van de headunit aan. Een algemeen geldende regel is dat u de versterking van de extra versterker zo laag mogelijk afregelt.

De afregelprocedure is als volgt:

- zet alle versterkingsregelingen op minimaal;
- zet de headunit op 80 % van het maximale volume;
- versterkingen opendraaien tot er hoorbare vervorming optreedt;
- versterkingen terugdraaien tot de vervorming verdwijnt.

Luidsprekers

Inleiding

Luidsprekers zetten het elektrisch signaal op de uitgang van een versterker om in een variërende luchtdruk. Uw oren zetten deze drukgolven om in het geluid zoals wij dat interpreteren. Uw oren zijn, als het goed is, in staat frequenties van 20 Hz tot 20.000 Hz te interpreteren. Een en ander is echter in hoge mate afhankelijk van uw leeftijd. Maar, met gaat er in het algemeen van uit dat de luidsprekers van uw systeem alle frequenties tussen deze twee grenzen moeten weergeven. Helaas is dit niet mogelijk met slechts één luidspreker, zodat het frequentiespectrum in drie of vier banden wordt ingedeeld, zie figuur 3/7.9-5.

Verschillende typen luidsprekers hebben ieder een specifiek frequentiebereik:

- subwoofer:
  20 Hz tot 80 Hz;
- kickbass woofer:
  80 Hz tot 300 Hz;
- mid woofer of midranger:
  300 Hz tot 3,5 kHz;
- tweeter:
  3,5 kHz tot 20 kHz.

Filters

Het volledige audiospectrum moet dus worden opgesplitst in een aantal frequentiebanden en daar heeft u filters voor nodig. De exacte kantel- of scheidingsfrequentie en de flanksteilheid van het filter hangen helemaal af van de gebruikte speakers. Vanwege ruimtegebrek en allerlei inbouwbeperkingen wordt er in de auto meestal een breedbandige tweeweg luidsprekerset gebruikt voor de front en rear speakers, aangevuld met één subwoofer.

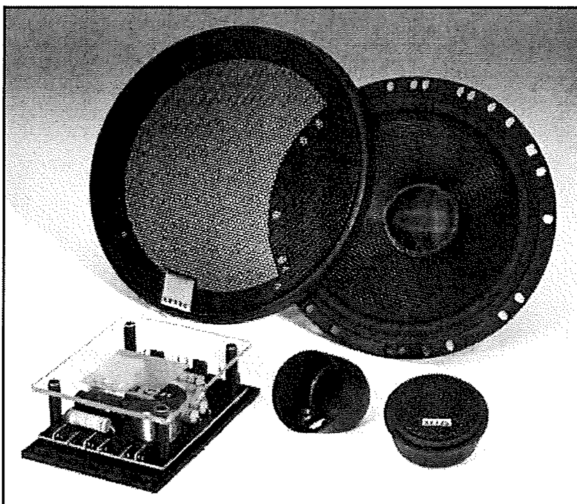
7.9 Moderne car-audio technologie

Plaatsing tweeter

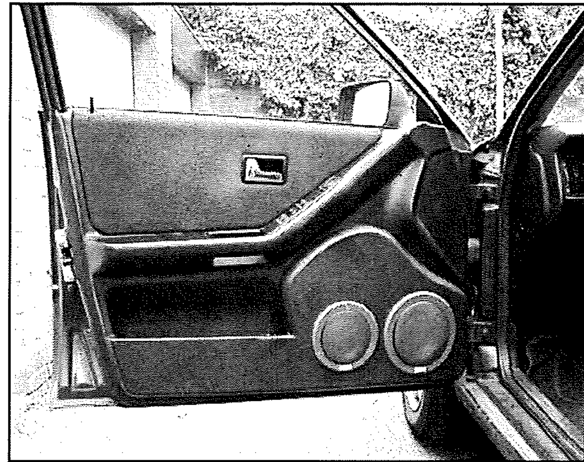
Probeer altijd de luidsprekers die op één versterker zijn aangesloten zo dicht mogelijk bij elkaar te plaatsen, dit voorkomt faseverschillen, veroorzaakt door looptijdverschillen. Faseverschil uit zich meestal in flinke dippen in de frequentiekarakteristiek, u "mist" een deel van het frequentiespectrum vanwege uitdoving van bepaalde frequenties en het stereobeeld klopt niet meer. Een tweeter moet dus zo dicht mogelijk bij de midranger van hetzelfde kanaal worden geplaatst.

Composet's

Een tweeweg luidsprekerset heet in car-audio kringen een "composet". Dergelijke set's zijn kant en klaar te koop en bestaan uit een tweeweg scheidingsfilter, een breedbandige midranger en een tweeter. In figuur 3/7.9-6 is als voorbeeld model X-6.2 van Xircuit voorgesteld. Deze set kan 120 W_{rms} aan en kost ongeveer € 200,00. Dergelijke composet's kunt u inbouwen in de portieren van uw auto, zie figuur 3/7.9-7.



Figuur 3/7.9-6: De composet X-6.2 van Xircuit.



Figuur 3/7.9-7: Inbouw van een composet in het portier van uw auto.

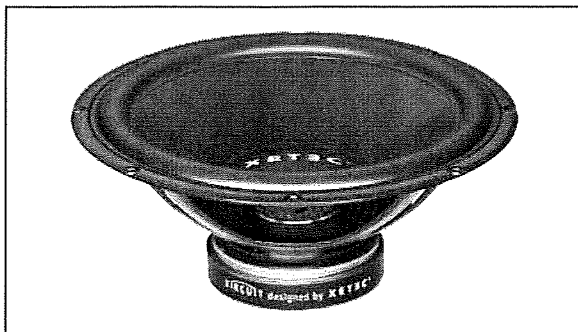
De subwoofer

Voor een moderne geluidsweergave in de auto zijn ze onmisbaar: subwoofers. Ze verzorgen de weergave tussen 20 Hz en 80 Hz. Er zijn twee typen subwoofers in de handel. DVC betekent "Dual Voice Coil", er zitten dan twee spoelen in de subwoofer, SVC betekent "Single Voice Coil", met één enkele spoel per subwoofer. In het algemeen kunt u stellen dat de basweergave recht evenredig is met de diameter van de luidspreker. In figuur 3/7.9-8 is een typische subwoofer voorgesteld, model X-12 van Xircuit. Deze DVC subwoofer heeft een conusdiameter van 30 cm en kan 2 x 300 W_{rms} verwerken met zijn twee spoelen van 4 Ω. Een dergelijke luidspreker kost ongeveer € 120,00.

De behuizing van de subwoofer

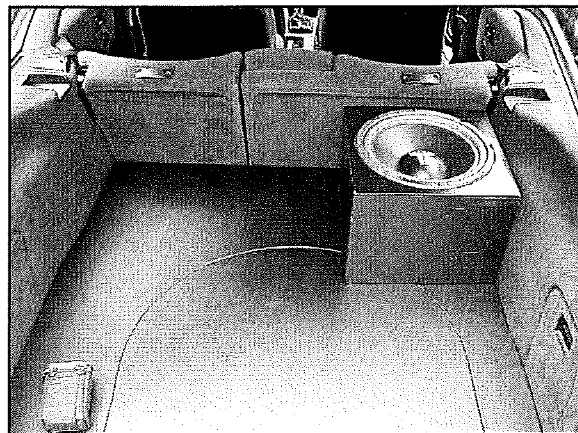
Een subwoofer moet absoluut in een gesloten box worden ingebouwd. Simpelweg monteren in een gat in de hoedenplank heeft weinig zin. Maak de box van 22 mm dikke MDF platen, die volledig luchtdicht worden verlijmd. In de box moet u dempingsmateriaal toepassen.

7.9 Moderne car-audio technologie



Figuur 3/7.9-8: De subwoofer X-12 van Xircuit.

Software waarmee u de afmetingen van een box kunt berekenen, geeft de netto inhoud als uitkomst voor het volume en houdt geen rekening met demping. Demping vergroot de netto inhoud en wel met een deelfactor 1,2 voor synthetische wol en een deelfactor 1,1 voor Pritex noppenschuim. Geeft uw software een netto volume van 30 liter aan en gebruikt u synthetische wol als dempingsmateriaal, dan kunt u de inhoud verlagen tot 30 / 1,2 = 25 liter.
Gebruik nooit isolatie glaswol van de bouwmarkten, de vezels hiervan kunnen de subwoofer beschadigen. Ook schuimrubber noppenschuim heeft andere acoustische eigenschappen dan Pritex noppenschuim, gebruik hiervan is daarom nutteloos.
Stop de gehele box vol met het dempingsmateriaal en druk het materiaal stevig aan, maar zorg dat de wooferconus niet geraakt wordt.
In figuur 3/7.9-9 is een ideale situatie voorgesteld, waarbij de subwoofer in een grote gesloten box is gemonteerd en opgesteld in de kofferruimte van een bestelauto. Wij raden u ten stelligste aan de conus af te sluiten met een bijpassend metalen front, zodat de kwetsbare conus tegen beschadigingen wordt beschermd.

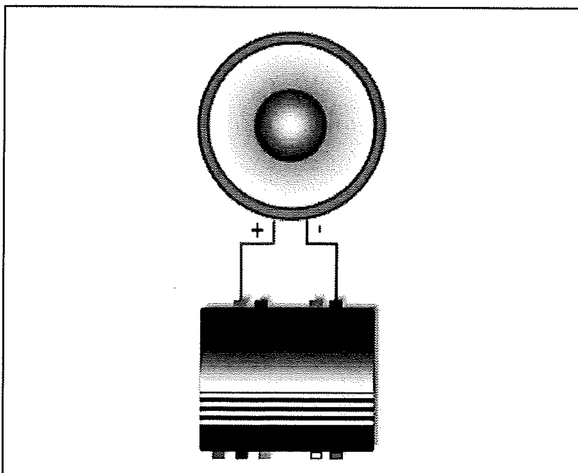


Figuur 3/7.9-9: De montage van een subwoofer in de kofferruimte van een bestelauto.

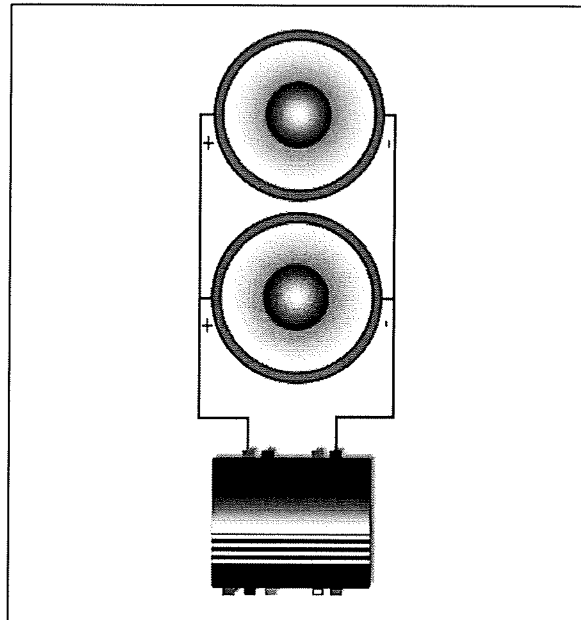
Aansluiten van de subwoofer op de extra versterker
Omdat een subwoofer in een gesloten behuizing een zeer laag rendement heeft, zult u een dergelijke luidspreker altijd op twee in brug geschakelde versterkers moeten aansluiten. Hierbij speelt de aanpassing een belangrijke rol. Als in de specificaties van uw versterkers staat vermeld dat het uitgangsvermogen 50 W_{rms} bedraagt in 4 Ω, dan moet u zich daar ook aan houden. Aansluiten op een luidspreker met een lagere of hogere impedantie heeft tot gevolg dat óf het maximale vermogen aanmerkelijk daalt óf de versterker een te grote belasting moet verwerken en gaat vervormen óf om de haverklap de thermische beveiliging doorslaat.
Wat betreft dit aspect hebben DVC subwoofers het voordeel dat u de twee spreekspoelen in serie of in parallel kunt schakelen om de juiste aanpassing te verkrijgen.
Let er echter wél op dat iedere deelversterker van een brugschakeling slechts de halve impedantie van de luidspreker "ziet". Als u dus een luidspreker van 4 Ω

aansluit op twee gebrugde versterkers, dat "ziet" iedere versterker een impedantie van slechts 2 Ω.
In de figuren 3/7.9-10 tot en met -12 zijn drie mogelijkheden voorgesteld.

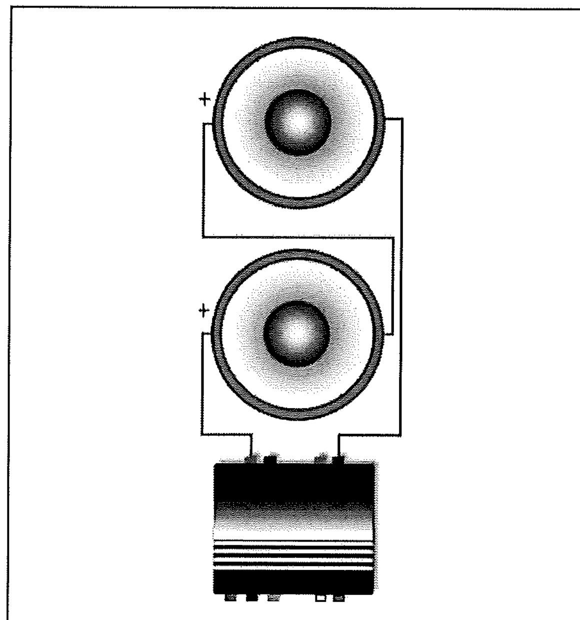
- Enkele spreekspoel op versterker
  De twee delen van de gebrugde versterker zien de helft van de luidsprekerimpedantie, een luidspeker van 4 Ω belast dus iedere versterker van de brug met 2 Ω.
- Dubbele spreekspoel in parallel
  In dit voorbeeld "ziet" iedere versterker van de brug een impedantie van slechts 1 Ω als de spreekspoelen een impedantie van 4 Ω hebben. Let op de juiste polariteit van de spreekspoelen: de twee plussen en de twee minnen worden doorverbonden.
- Dubbele spreekspoel in serie
  In dit schema "ziet" iedere versterker de impedantie van één spreekspoel. Als de spreekspoelen een impedantie van 4 Ω hebben, worden beide versterkers dus afgesloten met 4 Ω. Let ook nu op de juiste verbinding van de twee spreekspoelen: plus aan min.



Figuur 3/7.9-10: Een subwoofer met één spreekspoel.



Figuur 3/7.9-11: De twee spreekspoelen staan nu parallel, iedere versterker wordt met 1/4 van de luidspekerimpedantie belast.



Figuur 3/7.9-12: De twee spreekspoelen staan in serie, iedere versterker wordt met 1/1 van de luidspekerimpedantie belast.

7.9 Moderne car-audio technologie

Tabel draaddikten t.o.v. totaal opgenomen stroom en kabellengte								
Kabellengte [m]	Stroomopname [A]							
	0-20	20-35	35-50	50-65	65-85	85-105	105-125	125-150
0 - 1,0	4	6	8	10	16	16	25	35
1,1 - 1,8	6	8	10	10	16	16	25	35
1,9 - 2,5	6	10	10	16	25	25	25	35
2,6 - 3,3	8	10	16	25	25	35	35	35
3,4 - 4,0	8	16	16	25	35	35	50	50
4,1 - 4,8	10	16	25	25	35	35	50	50
4,9 - 5,6	10	16	25	25	35	35	50	50
5,7 - 7,1	10	25	25	35	50	50	50	50
	draaddikte [mm²]							

Figuur 3/7.9-13: De relatie tussen kabellengte, opgenomen stroom en kabeldoorsnede.

Bekabeling

Inleiding

De bekabeling is een belangrijk onderdeel van uw car-audio installatie. U moet drie soorten kabels aanbrengen:
- de voedingskabel;
- de signaalkabels;
- de luidsprekerkabels.

Voedingskabel

De voedingskabel verbindt uw headunit en extra versterker(s) met de accu. De accu levert een spanning van gemiddeld 13,4 V, met als gevolg dat zelfs de relatief kleine vermogens van uw car-audio installatie grote stromen vergen. Door deze kabel vloeien dus zeer hoge stromen en u moet dan ook rekening houden met de veiligheidsaspecten. Het interieur van uw auto is zeer brandbaar en het zou niet de eerste keer zijn dat een auto volledig uitbrandt met als oorzaak een kortsluiting die een voedingskabel tot gloeiens toe verhit. Om de hoofdvoedingskabel te beveiligen tegen kortsluiting, monteert u op maximaal 40 cm van de accu een inline-zekering van de juiste waarde.

De doorsnede van de voedingskabel bepaalt u aan de hand van de totaal opgenomen stroom van de versterkers en andere apparaten van de installatie. Een headunit verbruikt maximaal ongeveer 5 A, de stroomopname van extra versterkers is uiteraard afhankelijk van het vermogen. Als u rekening houdt met een gemiddeld rendement van 60 % van de eindversterkers, dan kunt u stellen dat u per 10 W_{rms} afgegeven vermogen moet rekenen met een stroomopname van 1,33 A. Als u dus een extra versterker van 4 x 50 W_{rms} in uw installatie opneemt, verbruikt dit apparaat bij maximale belasting 20 x 1,33 A = 26,60 A. De totale stroomopname van uw car-audio installatie bedraagt dus meer dan 30 A, een stroom die uw meterkast in uw woning volledig op tilt zou slaan.
De doorsnede van de voedingskabel is afhankelijk van de totaal te transporteren stroom, maar ook van de kabellengte. Een kabel heeft immers een bepaalde soortelijke weerstand en hoe langer de kabel, hoe meer spanningsverlies er optreedt over de kabel. Uit de tabel van figuur 3/7.9-13 kunt u de noodzakelijke kabeldoorsnede in mm^2 afleiden.

7.9 Moderne car-audio technologie

Tabel waarde hoofdzekering t.o.v. draaddoorsnede											
draaddoorsnede [mm²]	0,5	1,5	2,5	4	6	8	10	16	25	35	50
maximale waarde zekering [A]	6	15	20	25	40	50	60	80	125	175	250

Figuur 3/7.9-14: De relatie tussen de doorsnede van de voedingskabel en de noodzakelijke hoofdzekering.

In het genoemde voorbeeld met een stroomopname van 31,6 A en een geschatte afstand tussen accu en plaats van de versterker van 2 m moet uw voedingskabel dus een doorsnede hebben van 10 mm^2.

De hoofdzekering

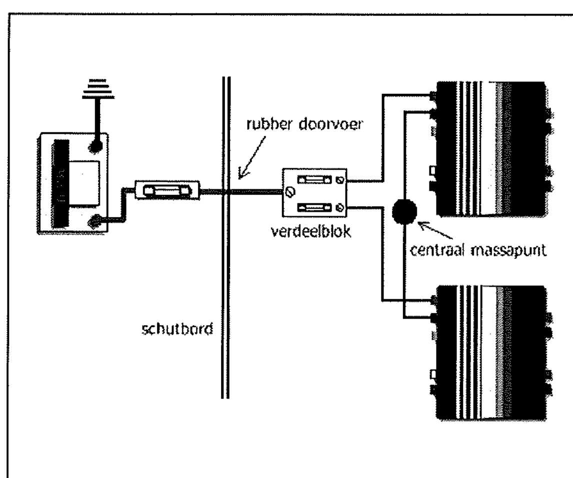
De inline-zekering tussen accu en voedingskabel van uw car-audio installatie moet een bepaalde, genormaliseerde waarde hebben. De waarde van de zekering hangt volgens de tabel van figuur 3/7.9-14 af van de doorsnede van de voedingskabel. In het behandelde voorbeeld heeft de voedingskabel een doorsnede van 10 mm^2 en moet u dus een zekering van 60 A toepassen.

Gedecentraliseerde voeding

Als u meer dan één extra versterker in uw installatie opneemt is het verstandig het schema van figuur 3/7.9-15 toe te passen. De voedingskabel gaat naar een verdeelblokje, waar u een aantal extra groepenzekeringen monteert, die ieder één eindversterker zekeren. Van dit verdeelblokje kunt u dan met dunnere voedingskabels naar de diverse onderdelen van uw car-audio installatie bedraden.

Centraal massapunt

Om storingen vanuit de andere verbruikers, zoals dynamo, motormanagement en relais te voorkomen, moet u een centraal massapunt maken. Dit is één punt op de carosserie, het liefst zo dicht mogelijk bij de versterker(s), waar u alle massaverbindingen aansluit op het chassis van uw auto. Meestal vormt de headunit hierop een uitzondering, die heeft z'n massapunt immers achter het dashboard. Mocht u ondanks alle voorzorgsmaatregelen toch nog storing hebben, dan is het proberen waard ook uw radio te aarden op dit centrale massapunt van de versterkers.



Figuur 3/7.9-15: Het toepassen van een verdeelblokje voor het voeden van de diverse onderdelen van uw installatie.

Luidsprekerkabels

In een auto is het niet noodzakelijk exotische luidsprekerkabels te gebruiken. Gewone 2,5 mm^2 voldoet uitstekend voor composet's of fullrange luidspre-

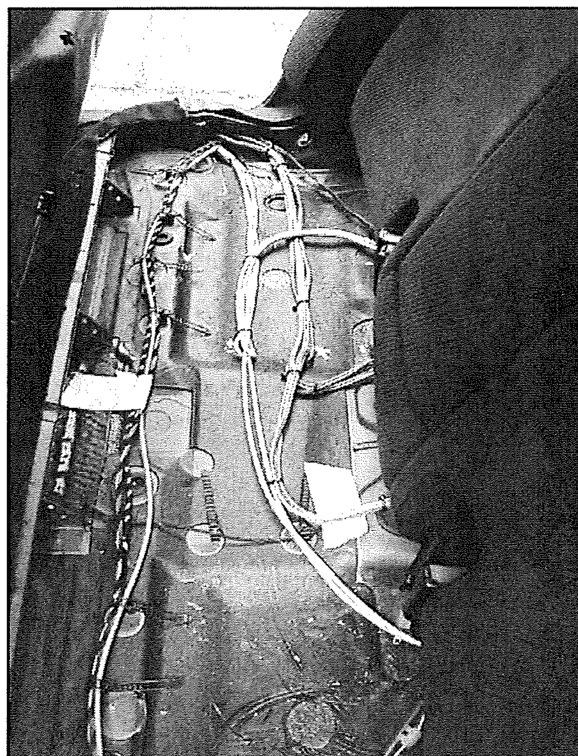
kers. Voor uw subwoofer moet u dikkere kabel gebruiken, maar 6 mm^2 voldoet, rekening houdende met de minimale bedradingslengte tussen versterker en subwoofer, uitstekend.

Signaalkabels
Het relatief kleine line-signaal vanuit de headunit is erg gevoelig voor storingen. Daarom is gebruik van een dubbele afgeschermde kabel geen luxe. Bij een dergelijke kabel is iedere signaalader afgeschermd en zit de volledige kabel nog eens in een afschermingskous. Klankmatig is er geen verschil tussen verschillende kabels en is de winst van hele dure exotische kabels minimaal. Let wel op de kwaliteit van de gebruikte pluggen, deze moeten gedurende een lange tijd in sterk wisselende omstandigheden (temperatuur, vocht) altijd een goed contact geven.

Ligging
Om invloeden van kabels onderling te onderdrukken is het slim om de voedingskabel links, signaalkabels in het midden en luidsprekerkabels rechts in de auto te leggen. Probeer te vermijden dat voeding-, signaal- en luidsprekerkabels dicht tegen elkaar liggen, elkaar kruisen geeft geen problemen. In figuur 3/7.9-16 ziet u hoe u de volledige bedrading van uw car-audio installatie bijvoorbeeld onder de achterbank kunt verbergen.

De connectoren

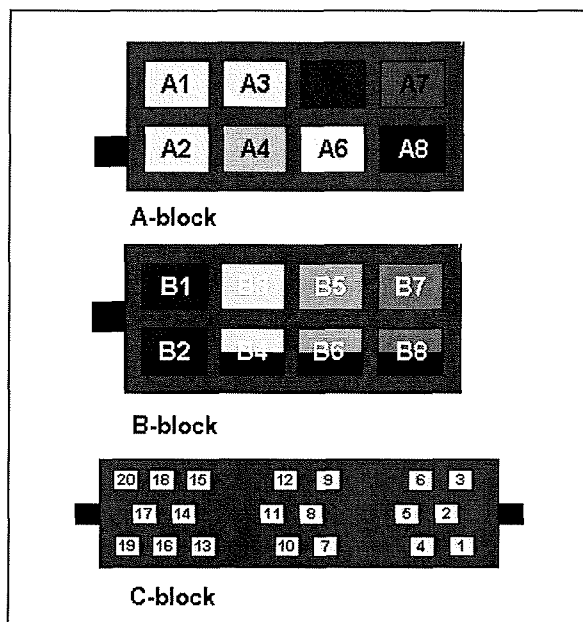
Inleiding
De meeste headset merken leveren tegenwoordig autoradio's met gestandaardiseerde ISO-connectoren. Dat is een gestandaardiseerd systeem, waarmee vrijwel alle elektrische onderdelen in uw auto met elkaar worden verbonden. In het kader van car-audio zijn de A-, B- en C-block connectoren van het ISO-systeem van belang.



Figuur 3/7.9-16: De bedrading kunt u bijvoorbeeld wegwerken onder de achterbank.

- Het ISO A-block verbindt alle voedingsspanningen;
- het ISO B-block levert de uitgangen van de diverse audio-kanalen;
- het ISO C-block levert de signalen voor cd-wisselaar, line-out, carkit en CAN-bus.

In figuur 3/7.9-17 zijn de aansluitgegevens van deze drie connectoren voorgesteld, getekend vanaf de achterzijde. Het zwarte blokje aan de zijkant is de vergrendel-clip.



Figuur 3/7.9-17: De aansluitgegevens van de drie van belang zijnde ISO-connectoren.

Aansluitingen A-block
- A1: telefoon mute/toerental pulse;
- A2: afstandsbediening/massa;
- A3: afstandsbediening;
- A4: oranje, permanente 12 V in;
- A5: blauw, geschakelde 12 V uitgang;
- A6: geel/zwart, verlichting en aan/uit-toets;
- A7: rood, geschakelde 12 V in;
- A8: zwart (bruin), massa.

Aansluitingen B-block
- B1: blauw, + rechts achter;
- B2: blauw/zwart, - rechts achter;
- B3: grijs, + rechts voor;
- B4: grijs/zwart, - rechts voor;
- B5: groen, + links voor;
- B6: groen/zwart, - links voor;
- B7: bruin, + links achter;
- B8: bruin/zwart, - links achter.

Aansluitingen C-block
- C1: line-out links achter;
- C2: line-out massa;
- C3: line-out rechts achter;
- C4: line-out links voor;
- C5: antenne/remote +12 V uit;
- C6: line out rechts voor;
- C7: -;
- C8: -;
- C9: -;
- C10: -;
- C11: phone in;
- C12: phone in massa;
- C13: cd id;
- C14: -;
- C15: massa;
- C16: +12 V continu;
- C17: +12 V geschakeld;
- C18: CD-changer line-in massa;
- C19: CD-changer line-in L;
- C20: CD-changer line-in R.

Let op!
Ondanks het gegeven dat de ISO-connector officieel is gestandaardiseerd, zult u in de praktijk helaas een heleboel uitzonderingen aantreffen. Lees dus steeds goed de documentatie van uw headset door!

De voeding

Inleiding
Bij gebruik van één of meerdere flinke versterkers wordt er heel veel van uw accu gevergd. De stroomopname van een car-audio installatie is hoog, samen met alle andere verbruikers erbij zal de accu moeite hebben om de spanning boven de 12 V te houden. Dit uit zich vaak in het knipperen van de verlichting op de maat van de muziek. Voor het geluid heeft het ook gevolgen, de dynamiek wordt minder en het sublaag klinkt niet strak. Wanneer de versterker meer dan

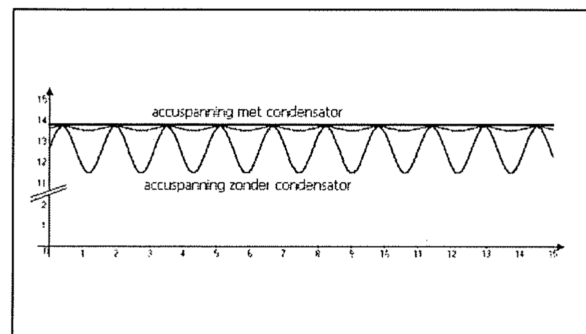
7.9 Moderne car-audio technologie

250 W_{rms} levert is een extra condensator over de accu geen overbodige luxe. Nu hebben wij het hier niet over de in elektronische schakelingen standaard aan te treffen elco's van maximaal 2.200 µF. Wil zo'n condensator over een zware auto-accu enig effect sorteren, dan moet u denken aan waarden van minstens 1 F! Dergelijke condensatoren zijn écht op de markt, zie figuur 3/7.9-18, maar u betaalt er wél een sappige € 100,00 voor!



Figuur 3/7.9-18: Een 1 F condensator met extreem lage impedantie van New Soland.

Deze condensator, type NS1000c van New Soland, heeft een inwendige weerstand van maximaal 1 mΩ bij 25 °C en 120 Hz. Dat is heel wat minder dan de inwendige weerstand van uw auto-accu en het gevolg is dat de enorme stroompieken die diepe bassen van uw accu vragen nu door de parallel geschakelde condensator worden geleverd. Het effect op de accuspanning is voorgesteld in figuur 3/7.9-19. Zonder extra condensator zal iedere stroompiek die aan de subwoofer wordt geleverd tot gevolg hebben dat de accuspanning heel even met 1 V á 2 V zakt. Mét condensator doet deze spanningsdaling zich niet voor en kunt u uw bassen op vol vermogen door uw auto-interieur (en de straat) laten schallen. Op de foto van figuur 3/7.9-18 ziet u drie zeven-segment display's in de condensator. Deze geven de spanning over de elco digitaal weer met een resolutie van 0,1 V.



Figuur 3/7.9-19: Het effect van het parallel schakelen van de elco over uw accu op de accuspanning.

Montage van de elco

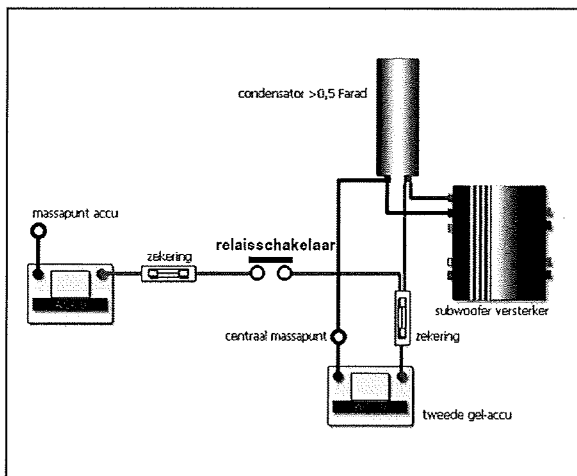
Monteer de condensator zo dicht mogelijk (ca. 10 cm) bij de grootste stroomverbruiker. Meestal is dit de versterker die de subwoofer(s) aanstuurt.

Een tweede accu

Wilt u continu erg hard spelen met stilstaande motor en een versterkervermogen van meer dan 250 W, dan is het aan te bevelen een tweede accu te installeren. Erg geschikt voor dit doel zijn gel-accu's, omdat ze niet kunnen lekken en er geen schadelijke gassen uit ontsnappen. U monteert zo'n gel-accu parallel aan de standaard accu, eventueel gescheiden door een relais, zodat de gel-accu geen stroom hoeft te leveren aan de startmotor. Hierdoor neemt de levensduur toe. Het zware relais (contactstroom minstens 100 A) wordt ingeschakeld door een extra schakelaar,

7.9 Moderne car-audio technologie

waarmee u uw car-audio installatie inschakelt. In figuur 3/7.9-20 is getekend hoe de voeding voor uw car-audio installatie er dan komt uit te zien.



Figuur 3/7.9-20: Door het toevoegen van een tweede accu wordt uw hoofd-accu niet belast door uw car-audio installatie.

Opmerking

De gegevens voor dit hoofdstuk werden onder andere verzameld van de site van R. van Gameren, www.12vhifi.nl. Op deze site treft u ook links aan naar de bekendste fabrikanten van headset's, versterkers, condensatoren en subwoofers.